

**ANALISIS TIPE DAN KONSENTRASI JEMBATAN GARAM PADA  
KARAKTERISTIK ELEKTRIK PEMBANGKIT LISTRIK  
BERBAHAN ELEKTROLIT AIR LAUT**

(Skripsi)

Oleh

**SYAIFUL ANWAR**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## ABSTRAK

### ANALISIS TIPE DAN KONSENTRASI JEMBATAN GARAM PADA KARAKTERISTIK ELEKTRIK PEMBANGKIT LISTRIK BERBAHAN ELEKTROLIT AIR LAUT

OLEH

Syaiful Anwar

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi jembatan garam terhadap nilai karakteristik elektrik menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn dengan 20 LED sebagai beban. Pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn digunakan untuk menghasilkan tegangan dan arus listrik dari 5 buah sel volta secara seri dengan elektrolit air laut. Variasi konsentrasi jembatan garam menggunakan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,1 dan 1 mol dengan  $\text{CaCO}_3$  0,1 dan 1 mol serta penambahan dengan semen Baturaja. Elektroda Cu(Ag)-Zn dilengkapi dengan sistem monitoring tegangan dan kuat arus menggunakan sensor INA219 serta monitoring intensitas cahaya dengan sensor BH1750 yang masing-masing bekerja secara *real-time*. Analisis menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada jembatan garam, semakin besar nilai tegangan yang dihasilkan. Nilai hambatan dalam akan semakin kecil apabila konsentrasi jembatan garam  $\text{CaCO}_3$  memiliki nilai yang kecil.

**Kata kunci:** Air laut, Elektroda Cu(Ag)-Zn, dan Jembatan Garam.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF THE TYPE AND CONCENTRATION OF SALT BRIDGES ON THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF POWER PLANTS MADE FROM SEAWATER ELECTROLYTES**

**By**

**Syaiful Anwar**

*This research was conducted to analyze the effect of variations in salt bridge concentration to the value of electrical characteristics using Cu(Ag)-Zn electrodes with 20 LEDs as a load. The Cu(Ag)-Zn electrodes pair is used to generate voltage and electric current from 5 voltaic cells in series circuit with seawater electrolyte. Variation of salt bridge concentration using 0.1 and 1 mole of  $Al_2O_3$  with 0.1 and 1 mole of  $CaCO_3$  and addition of Baturaja cement. The Cu(Ag)-Zn electrode is equipped with voltage and current monitoring system using INA219 sensor as well as light intensity monitoring system using BH1750 sensor, each of which works in real-time. The analysis shows that the greater concentration of  $Al_2O_3$  in the salt bridge, the greater value of the resulting voltage. The value of internal resistance will be smaller if the concentration of  $CaCO_3$  salt bridge has a small value.*

**Keywords:** *Cu(Ag)-Zn Electrode, Salt Bridges, and Seawater.*

**ANALISIS TIPE DAN KONSENTRASI JEMBATAN GARAM PADA  
KARAKTERISTIK ELEKTRIK PEMBANGKIT LISTRIK  
BERBAHAN ELEKTROLIT AIR LAUT**

**Oleh**

**Syaiful Anwar**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2021**

iii

Judul Skripsi : **Analisis Tipe Dan Konsentrasi Jembatan Garam Pada Karakteristik Elektrik Pembangkit Listrik Berbahan Elektrolit Air Laut**

Nama Mahasiswa : **Syaiful Anwar**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1617041066

Program Studi : Fisika

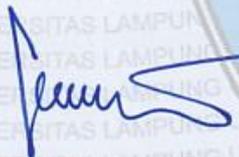
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

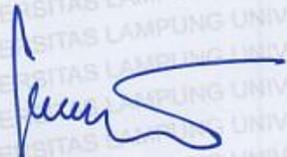
Pembimbing I,

Pembimbing II,

  
**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 19801010 200501 1 002

  
**Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**  
NIP. 19650407 199111 1 001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

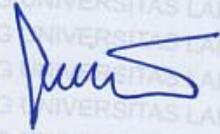
  
**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 19801010 200501 1 002

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

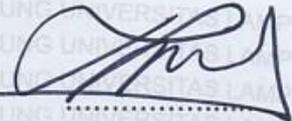
**Ketua**

**: Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



**Sekretaris**

**: Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



**Penguji**

**Bukan Pembimbing : Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Dr. Eng. Sripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.**

**NIP. 19740705 200003 1 001**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Oktober 2021**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain. Kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 Oktober 2021



Syaiful Anwar  
NPM. 1617041066

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Syaiful Anwar dilahirkan pada tanggal 26 Maret 1998 di Desa Bumi Kencana Kec. Seputih Agung Kab. Lampung Tengah, Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara yang lahir dari pasangan Bapak Khumeri dan Ibu Sri Sugiarti.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak LPMK Bumi Kencana tahun 2003-2004. Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Bumi Kencana pada tahun 2004-2010. Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Terbanggi Besar pada tahun 2010-2013, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Seputih Agung pada tahun 2013-2016. Pada tahun 2016, penulis menjadi Mahasiswa S1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung (Unila) yang diterima melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menempuh pendidikan di perkuliahan, penulis mendapatkan beasiswa Biaya Pendidikan Mahasiswa Miskin Berprestasi (BIDIKMISI). Dalam bidang organisasi, penulis pernah menjadi anggota bidang Kaderisasi HIMAFI FMIPA Unila (2016-2018), anggota bidang Media dan Informasi FORKOM BM Universitas Lampung

(2016-2018). Selain itu, penulis pernah menjadi asisten praktikum Fisika Komputasi dan Pemrograman Komputer. Pada tahun 2017 penulis mengikuti KWI (Karya Wisata Ilmiah) di Desa Margosari, Kecamatan Pagelaran Utara, Kabupaten Pringsewu. Pada tahun 2019, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan yang berjudul “Analisis Karakteristik Arus Motor Dahlander pada RCD (*Rotary Car Dumper*) 1 di PT. Bukit Asam Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan”. Kemudian pada tahun 2020 penulis mengikuti program KKN (Kuliah Kerja Nyata) di Desa Ringin Jaya, Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat. Penulis pernah melakukan pengabdian kepada masyarakat jurusan Fisika di Kalianda, Lampung Selatan tahun 2020 yang berjudul “Pembinaan Pembuatan Alat Deteksi Dini Gempa Bumi Sederhana dan *Trauma Healing* di SDN 3 Merak Belantung”. Pada bulan Juli 2020 penulis melakukan penelitian terkait tugas akhir yang berjudul “**Analisis Tipe dan Konsentrasi Jembatan Garam pada Karakteristik Elektrik Pembangkit Listrik Berbahan Elektrolit Air Laut**” yang bertempat di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

## MOTTO

**“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Ia mendapat pahala (dari kebajikan) yang diusahakannya dan ia mendapat siksa (dari kejahatan) yang dikerjakannya”.**

**(Q.S Al-Baqoroh : 286)**

**“Barangsiapa menghendaki keuntungan di akhirat akan Kami tambahkan keuntungan itu baginya dan barangsiapa menghendaki keuntungan di dunia Kami berikan kepadanya sebagian darinya (keuntungan dunia), tetapi dia tidak akan mendapat bagian di akhirat”.**

**(Q.S Asy-Syuara : 20)**

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya ini kepada:

**Bapak Khumeri dan Ibu Sri Sugiarti**

Kedua orang tuaku yang tak pernah lelah untuk bekerja membiayai pendidikanku hingga saat ini, membesarkan, mengayomi, mendidikku untuk menjadi pribadi yang baik, dan selalu mendoakanku

**Saudara dan Keluarga Besarku**

Selalu memberikan motivasi dan mendoakanku

**Sahabat-sahabatku**

Selalu memberikan bantuan, semangat, serta nasihat untuk lebih baik lagi

dan

**Almamater tercinta**

**Universitas Lampung**

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah subhanahu wata'ala karena dengan rahmat, karunia, serta taufik dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan hasil penelitian skripsi dengan judul "*Analisis Tipe Dan Konsentrasi Jembatan Garam Pada Karakteristik Elektrik Pembangkit Listrik Berbahan Elektrolit Air Laut*" ini dengan baik meskipun masih banyak kekurangan didalamnya. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk semua agar dapat menerapkan ilmu fisika bidang instrumentasi dalam kehidupan sehari-hari. Penulis juga menyadari sepenuhnya bahwa didalam skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 10 Oktober 2021

Syaiful Anwar

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Tipe Dan Konsentrasi Jembatan Garam Pada Karakteristik Elektrik Pembangkit Listrik Berbahan Elektrolit Air Laut”**.

Penulis mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Pembimbing I dan Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasehat dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Amir Supriyanto, M.Si. selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si. selaku Pembahas yang telah memberikan kritik dan saran untuk penulisan skripsi yang lebih baik.
4. Ibu Leni Rumiyantri, S.Pd., M.Sc. selaku Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan selama proses perkuliahan.
5. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

6. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah banyak memberikan ilmu bagi penulis.
7. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung atas segala bantuannya.
8. Kedua Orang tua dan keluargaku yang selalu mendoakan, memberikan dukungan baik semangat maupun materi kepada penulis dalam penulisan skripsi.
9. Aisy Estania yang telah mendoakan, memberikan semangat kepada penulis.
10. Nila, Gerhat, Susanto, Juwan, Syifa, Chandra sebagai tim penelitian atas bantuan, motivasi, dukungan, dan kerjasamanya.
11. Teman-teman MPI Lampung yang selalu memberikan motivasi, mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis.
12. Teman-teman seperjuangan Fisika 2016 yang selalu memberikan semangat dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
13. Serta semua pihak yang tidak penulis cantumkan, yang telah memberikan bantuan moril maupun materiil kepada penulis.

Semoga kita semua selalu dalam lindungan Allah SWT.

Bandar Lampung, 10 Oktober 2021

Penulis

**Syaiful Anwar**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vii
<b>MOTTO</b> .....	ix
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>SANWACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xx
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5

1.4	Manfaat Penelitian.....	5
1.5	Batasan Masalah.....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>		
2.1	Penelitian Terkait .....	7
2.2	Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya.....	12
2.3	Jembatan Garam.....	13
2.4	Elektrokimia.....	15
2.5	Sel Volta.....	16
2.6	Sel Elektrolisis.....	18
2.7	Elektrolit.....	20
2.8	Elektroda .....	21
2.9	Potensial Elektroda.....	22
2.10	Karakteristik Air Laut .....	24
2.11	Karakteristik Tembaga (Cu) dan Seng (Zn).....	25
2.12	Karakteristik Perak (Ag) .....	27
2.13	Elektroplating.....	28
2.14	Korosi .....	29
2.15	Laju Reaksi.....	31
2.16	Arduino Nano.....	32
2.17	Sensor INA219.....	34
2.18	Sensor BH1750 .....	36
2.19	Relay.....	37
2.20	Modul RTC ( <i>Real Time Clock</i> ).....	38
2.21	Data Logger.....	39
<b>III. METODE PENELITIAN</b>		
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	41
3.2	Alat dan Bahan.....	41
3.3	Prosedur Penelitian.....	43
3.4	Rancangan Data Hasil Penelitian .....	53
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Realisasi Sistem Sel Volta.....	56
4.2	Realisasi Sistem Monitoring Tegangan, Kuat Arus dan Intensitas Cahaya.....	58
4.3	Data Pengamatan dan Perhitungan Karakteristik Elektrik Sel Volta .....	59
4.4	Analisis Jembatan Garam.....	68

**V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan..... 70  
4.2 Saran..... 70

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Pengambilan data karakteristik elektrik air laut .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Desain alat .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Desain akumulator elektrolit.....	9
<b>Gambar 2.4</b> Desain sistem sel volta.....	10
<b>Gambar 2.5</b> Desain sistem <i>filtering</i> air laut.....	10
<b>Gambar 2.6</b> Desain satu sel volta dan jembatan garam.....	11
<b>Gambar 2.7</b> Rangkaian sel volta dengan jembatan garam.....	14
<b>Gambar 2.8</b> Prinsip kerja sel volta.....	17
<b>Gambar 2.9</b> Sel elektrolisis.....	18
<b>Gambar 2.10</b> Rangkaian alat elektroplating .....	29
<b>Gambar 2.11</b> Proses korosi secara galvanis.....	30
<b>Gambar 2.12</b> Arduino nano .....	32
<b>Gambar 2.13</b> Pin Arduino nano.....	33
<b>Gambar 2.14</b> Lembar kerja Arduino IDE.....	34
<b>Gambar 2.15</b> Skematika INA219 .....	35
<b>Gambar 2.16</b> Sensor INA219 .....	35
<b>Gambar 2.17</b> Konfigurasi sensor BH1750 .....	36

<b>Gambar 2.18</b> Sensor BH1750.....	37
<b>Gambar 2.19</b> Prinsip kerja <i>relay</i> .....	38
<b>Gambar 2.20</b> <i>Relay 2 channel</i> .....	38
<b>Gambar 2.21</b> <i>Real time clock</i> DS3231.....	39
<b>Gambar 2.22</b> <i>Micro SD Card Adapter</i> .....	40
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian .....	44
<b>Gambar 3.2</b> Desain sel volta.....	45
<b>Gambar 3.3</b> Desain susunan sel volta.....	45
<b>Gambar 3.4</b> Desain alat keseluruhan .....	46
<b>Gambar 3.5</b> Elektroplating pada Cu (Tembaga).....	47
<b>Gambar 3.6</b> Sel 2 kompartemen dengan jembatan garam .....	48
<b>Gambar 3.7</b> Diagram blok .....	49
<b>Gambar 3.8</b> Desain rangkaian .....	50
<b>Gambar 3.9</b> Diagram alir rancangan program pengendali .....	52
<b>Gambar 3.10</b> Rangkaian untuk mengukur nilai (a) $V_{bl}$ dan $V_b$ .....	54
<b>Gambar 3.11</b> Grafik pengukuran karakteristik energi listrik.....	55
<b>Gambar 4.1</b> Sistem sel volta keseluruhan.....	56
<b>Gambar 4.2</b> Elektroda Cu(Ag).....	57
<b>Gambar 4.3</b> Sistem monitoring tegangan, kuat arus dan intensitas cahaya.....	58
<b>Gambar 4.4</b> Hubungan antara nilai $V_{tb}$ terhadap waktu .....	60
<b>Gambar 4.5</b> Hubungan antara nilai $V_b$ terhadap waktu .....	61
<b>Gambar 4.6</b> Hubungan antara nilai kuat arus terhadap waktu.....	63
<b>Gambar 4.7</b> Hubungan antara nilai intensitas cahaya terhadap waktu .....	64

<b>Gambar 4.8</b> Hubungan antara nilai $R_{in}$ terhadap waktu .....	66
<b>Gambar 4.9</b> Hubungan antara nilai P terhadap waktu .....	67

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Nilai potensial elektroda.....	23
<b>Tabel 2.2</b> Spesifikasi Arduino nano .....	33
<b>Tabel 3.1</b> Sambungan pin Arduino nano dan komponen .....	51
<b>Tabel 3.2</b> Data pengukuran karakteristik energi listrik dengan jembatan garam Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan CaCO <sub>3</sub> .....	55
<b>Tabel 3.3</b> Hasil perhitungan karakteristik energi listrik .....	55
<b>Tabel 4.1</b> Hasil pengukuran V <sub>tb</sub> .....	61
<b>Tabel 4.2</b> Hasil pengukuran V <sub>b</sub> .....	62
<b>Tabel 4.3</b> Hasil pengukuran kuat arus .....	64
<b>Tabel 4.4</b> Hasil pengukuran intensitas cahaya .....	65
<b>Tabel 4.5</b> Tegangan sel volta dengan berbagai jembatan garam selama 72 jam.....	68
<b>Tabel 4.6</b> Pengukuran arus sel volta dengan berbagai jembatan garam selama 72 jam .....	69

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi termasuk kebutuhan dasar manusia yang terus meningkat sejalan dengan tingkat pertumbuhan penduduk (Kholiq, 2015). Salah satunya energi listrik, energi listrik digunakan dalam kehidupan masyarakat yang hanya berkapasitas rendah sampai ke dunia industri dalam jumlah yang sangat besar (Pratisto, 2014). Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2018, rasio elektrifikasi di Indonesia pada tahun 2018 sebesar 94,37 % dan menargetkan rasio elektrifikasi pada tahun 2019 sebesar 99,99 % dengan melakukan proses pengembangan melalui pemanfaatan berbagai potensi energi terbarukan yaitu panas bumi 0,44 %, air 1,21 %, bioenergi 0,42 %, angin 0,02 %, panas matahari 0,02% dan laut 0 %. Berdasarkan data tersebut, hingga saat ini penyediaan energi listrik di Indonesia belum merata serta belum dimanfaatkannya potensi energi terbarukan secara maksimal salah satunya laut sebagai sumber energi listrik alternatif (ESDM, 2018).

Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah air laut. Air laut mengandung unsur Natrium Klorida (NaCl) yang tinggi dan H<sub>2</sub>O (Prastuti, 2017). Secara kimia, air laut merupakan elektrolit yang menghasilkan energi listrik dengan

memanfaatkan proses elektrokimia (Prastuti, 2017). Elektrokimia merupakan perubahan energi kimia menjadi energi listrik akibat adanya sel elektrokimia (dua elektroda dan elektrolit) sebagai penghantar listrik. Untuk menghasilkan energi listrik, jenis sel elektrokimia yang digunakan adalah sel volta. Sel volta suatu elektrolit air laut diberikan dua buah logam sebagai elektroda yang terhubung satu sama lain dan memiliki beda potensial yang menghasilkan energi listrik (Riyanto, 2013).

Penggunaan air laut sebagai elektrolit pada sel volta telah banyak diteliti. Berdasarkan penelitian yang diteliti dilakukan oleh Pauzi, dkk (2016), dengan menggunakan 3 elektroda yaitu C-Zn, Cu-Al, dan Cu-Zn menghasilkan energi listrik alternatif dari air laut. Susunan sel elektrokimia air laut yang tersusun secara seri menghasilkan keluaran tegangan yang semakin tinggi sebanding dengan banyaknya sel, sedangkan sel yang tersusun secara parallel menghasilkan keluaran tegangan yang stabil (Maulana dkk, 2017). Semakin lama penggunaan elektrolit air laut dengan beban yang diberikan dapat menyebabkan korosi pada elektroda sehingga energi yang dihasilkan semakin lama akan semakin menurun. Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian Pauzi, dkk (2017) yang menunjukkan nilai karakteristik elektrik yang dihasilkan Cu-Zn selama 72 jam semakin lama semakin menurun yang disebabkan terjadinya korosi pada elektroda.

Pemanfaatan sel volta merupakan hasil terapan sel elektrokimia untuk menghasilkan teknologi energi terbarukan (Harahap, 2016). Sel volta pada satu sel menyebabkan transfer elektron terjadi secara cepat menyebabkan korosi karena perbedaan potensial yang berada dalam suatu lingkungan elektrolit (Bardal, 2003 dan Wibowo, 2016). Oleh karena itu, diperlukan metode untuk menghambat terjadinya korosi pada sel volta

dengan pengendalian laju transfer elektron dengan cara pelapisan seng Zn (Prabhu *et. al.*, 2012 dan Ansari dkk, 2017). Pelapisan seng Zn dapat menggunakan prinsip jembatan garam pada sel elektrokimia salah satunya dengan memisahkan elektrolit air laut elektroda Zn dan elektroda Cu dalam dua sel yang berbeda. Jika sel air laut dipisahkan maka tidak terjadi aliran listrik, sehingga pada sel elektrokimia diperlukan jembatan garam supaya ion-ion dalam larutan seimbang dan terjadi perubahan kimia menjadi perubahan listrik (Chang, 2003).

Jembatan garam memiliki fungsi untuk menyetarakan kation dan anion dalam larutan. Adapun syarat jembatan garam yaitu bisa dilewati ion dan hanya sedikit melewati pelarut (Arizal dkk, 2017). Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Akbar dkk (2017) membuat sel volta dengan bantuan jembatan garam menggunakan bakteri sebagai katalis untuk menghasilkan arus listrik dan Haq dkk (2018) membuat sel volta dengan bantuan jembatan garam untuk aplikasi pembangkit listrik menggunakan energi garam sebagai elektrolit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa adanya jembatan garam pada sel volta menyebabkan aliran elektron dalam larutan seimbang sehingga menghasilkan arus listrik.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, Rizki (2019) telah berhasil membuat sel elektrokimia pada sel volta tanpa menggunakan bantuan jembatan garam dengan elektroda berbentuk plat Cu(Ag)-Zn untuk mengetahui karakteristik elektrik listrik dari air laut. Kekurangan dari penelitian ini karakteristik elektrik yang dihasilkan semakin berkurang karena terjadi pelepasan elektroda Zn akibat korosi. Penelitian ini kemudian diperbaiki oleh Anjarwati (2019). Penelitian ini merancang sel volta dengan bantuan

jembatan garam menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn berbentuk serabut Cu (tembaga) dan menambahkan jembatan garam NaCl dan KCl dalam proses elektrokimia. Penelitian ini berhasil, pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn dengan penambahan jembatan garam lebih tahan terhadap korosi dari air laut.

Berdasarkan pemaparan diatas maka dilakukan penelitian ini untuk mencoba merancang sel volta dengan bantuan jembatan garam yang lebih sederhana menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn berbentuk serabut Cu (tembaga) dan menambahkan jembatan garam  $Al_2O_3$  (alumina) dan  $CaCO_3$  (kalsium karbonat) yang dicampurkan dengan semen dan NaCl dalam proses elektrokimia. Penelitian ini akan dikaji analisis tipe dan konsentrasi jembatan garam pada karakteristik elektrik pembangkit listrik berbahan elektrolit air laut. Hasil analisis ini akan menjadi dasar menghasilkan energi alternatif dari elektroda Cu(Ag)-Zn berbahan elektrolit air laut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana mendesain dan membuat media elektrolit air laut dengan menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn dengan penambahan jembatan garam?
2. Bagaimana mendesain sistem untuk monitoring tegangan, kuat arus dan intensitas cahaya yang terintegrasi pada *SD card*?
3. Bagaimana analisis dari variasi konsentrasi jembatan garam  $Al_2O_3$  dan  $CaCO_3$ , untuk memperoleh energi listrik?

4. Bagaimana karakteristik elektrik pada sel volta pada saat dilakukan pemberian beban LED?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. menghasilkan sebuah desain media elektrolit air laut dengan menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn dengan penambahan jembatan garam;
2. menghasilkan sistem untuk monitoring tegangan, kuat arus dan intensitas cahaya menggunakan sensor INA219 dan sensor BH1750 yang terintegrasi pada *SD card*;
3. mengetahui analisis yang terbaik dari berbagai variasi konsentrasi jembatan garam yang digunakan;
4. menghasilkan data atau informasi mengenai karakteristik elektrik pada sel volta untuk sebagai sumber penerangan;

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. memperlama umur pakai sel elektrokimia;
2. menghasilkan sistem monitoring tegangan, kuat arus dan intensitas cahaya menggunakan sensor INA219 dan BH1750 yang terintegrasi pada *SD card*;
3. memperoleh referensi baru tentang sains terkait energi listrik air laut yang dimanfaatkan sebagai sumber penerangan;

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. desain alat yang digunakan terbuat dari bahan akrilik sebagai box sel volta dan terdiri dari 5 sel elektrolit yang terbuat dari bahan akrilik;
2. penelitian ini dilakukan menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn;
3. volume elektrolit 200 ml per sel yang tersusun secara seri;
4. menggunakan sistem monitoring tegangan, kuat arus dan intensitas cahaya secara *real-time* berbasis Arduino untuk pengukuran parameter elektrik pada sel volta;
5. konsentrasi yang digunakan pada jembatan garam  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CaCO}_3$  untuk memperoleh nilai listrik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang berkaitan dengan energi listrik alternatif dilakukan Pauzi, dkk., (2016) menganalisis karakteristik air laut sebagai sumber energi terbarukan. Metode yang dilakukan yaitu pengujian karakteristik air laut sebagai larutan elektrolit Cu-Zn, C-Zn dan Cu-Al sebagai pasangan elektrodanya. Volume elektrolit digunakan bervariasi yaitu 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml dan 200 ml untuk setiap sel. Desain sel volta berjumlah 20 sel yang disusun secara seri, seperti disajikan pada Gambar 2.1.

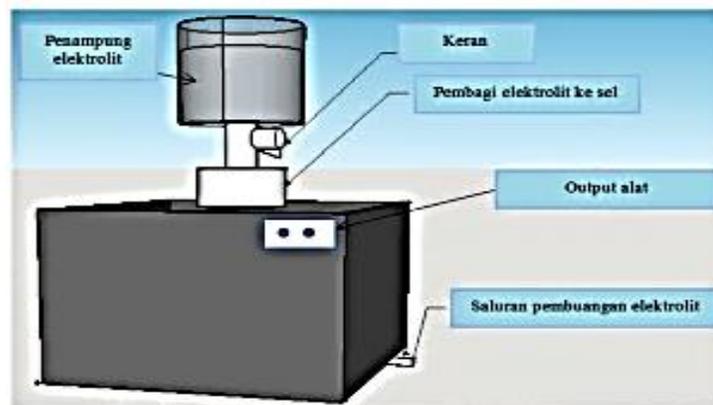


**Gambar 2.1** Pengambilan data karakteristik elektrik air laut (Pauzi, dkk., 2016)

Pengambilan data dilakukan selama 1 menit sekali selama 10 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jika nilai karakteristik elektrik air laut berbanding lurus dengan

volumenya. Pengukuran tanpa beban pasangan elektroda C-Zn menghasilkan tegangan paling besar, yaitu 17,46 volt dengan volume elektrolit sebesar 100 ml. Sedangkan untuk pengukuran dengan beban  $1000 \Omega$  pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan karakteristik elektrik paling besar, yaitu tegangan 4,34 V, arus 0,602 mA dan daya 2,693 mW dengan volume 200 ml.

Penelitian serupa dilakukan Aristian (2016), desain dan realisasi sistem energi alternatif dengan elektrolit air laut. Penelitian ini menggunakan sepasang elektroda Cu-Zn dengan jumlah sel volta sebanyak 40 sel yang disusun secara seri dengan sistem pengisian dan pengosongan elektrolit air laut, seperti disajikan Gambar 2.2.

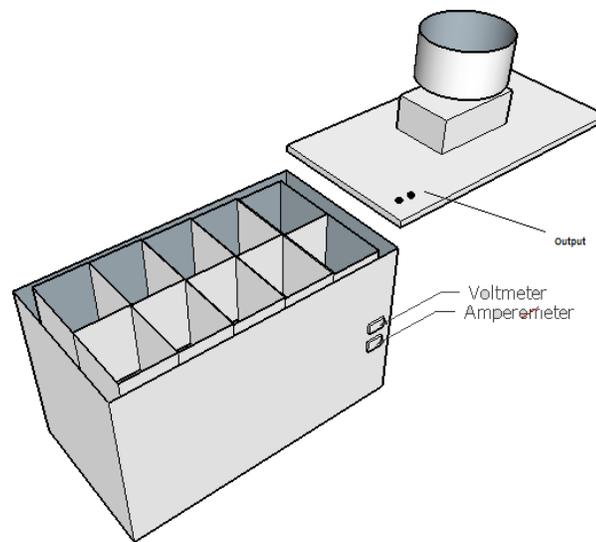


**Gambar 2.2** Desain alat (Aristian, 2016)

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan setiap 1 jam sekali selama 72 jam serta dilakukan pengisian dan pengosongan air laut setiap 24 jam sekali. Semakin banyak sel yang digunakan, maka hasil pengambilan data nilai karakteristik yang dihasilkan semakin menurun. Persentase penurunan rata-rata daya listrik 24 jam pengujian pertama sebesar 14,24% dan persentase rata-rata tegangan saat beban dilepas sebesar 6,47%. Persentase penurunan rata-rata daya listrik 24 jam pengujian kedua sebesar

10,12% dan persentase rata-rata tegangan saat beban dilepas sebesar 5,28%. Sementara, persentase penurunan rata-rata daya listrik 24 jam pengujian ketiga sebesar 12,62% dan persentase rata-rata tegangan saat beban dilepas sebesar 4,79%. Salah satu penyebab penurunan nilai karakteristik elektrik, yaitu terjadinya korosi pada elektroda (Aristian, 2016).

Arwaditha (2017) melakukan penelitian yang sama dengan Aristian, namun pada penelitian ini setiap sel terdapat 4 pasang elektroda Cu-Zn yang dirangkai secara parallel dan ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  sebagai katalis pada elektrolit air laut. Desain akumulator elektrolit disajikan pada Gambar 2.3.

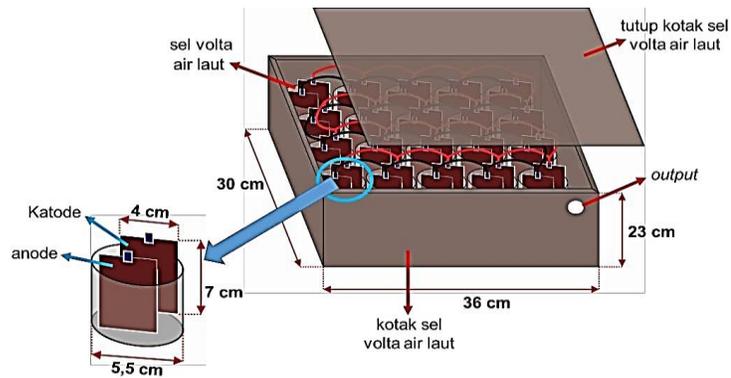


**Gambar 2.3** Desain akumulator elektrolit (Arwaditha, 2017)

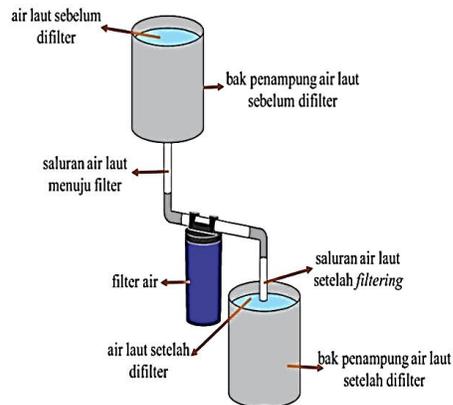
Pengambilan data air laut tanpa perlakuan dilakukan selama 72 jam, sedangkan air laut yang ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  dilakukan selama 5 hari. Nilai karakteristik elektrik yang dihasilkan semakin lama semakin menurun dan dapat menghidupkan LED selama 3 hari, sedangkan dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$  karakteristik elektrik dapat

menghidupkan LED selama 5 hari. Laju korosi elektroda pada air laut semakin lama semakin besar, sedangkan dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$  tidak terjadi korosi.

Rizki (2019) melakukan penelitian tentang pengendalian korosi pada elektroda  $\text{Cu}(\text{Ag})\text{-Zn}$  dan  $\text{Cu-Zn}$  dengan jumlah sel yang digunakan 20 sel dalam sistem wadah tertutup. Setiap sel diisi dengan air laut yang dilakukan secara sistem *filtering* elektrolit. Desain sistem sel volta dan sistem *filtering* air laut disajikan pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.



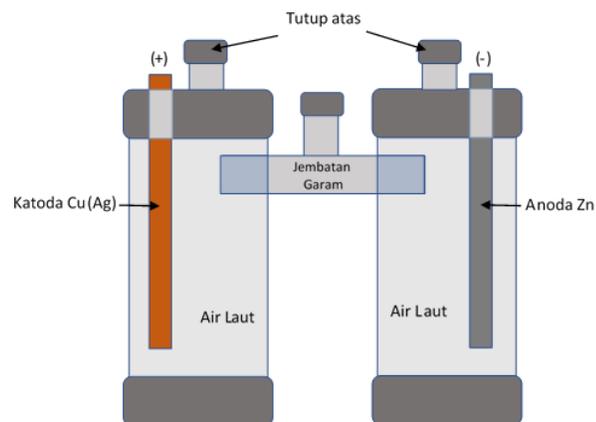
**Gambar 2.4** Desain sistem sel volta (Rizki, 2019)



**Gambar 2.5** Desain sistem *filtering* air laut (Rizki, 2019)

Penelitian ini menggunakan perlakuan pengendalian korosi dengan metode elektroplating perak (Ag) pada tembaga (Cu) dengan larutan sepuh perak ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,02 M sebanyak 300 ml sebagai larutan elektrolitnya. Pengambilan data dilakukan setiap 1 jam sekali selama 72 jam dengan pergantian air laut setiap 24 jam. Penelitian ini pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang lebih besar dan stabil dibandingkan Cu-Zn. Hasil elektroplating Ag pada Cu mampu menghasilkan katoda Cu(Ag) yang lebih tahan terhadap korosi dari elektrolit air laut dengan laju korosi 5 kali lebih rendah dibandingkan Cu. Hasil penelitian dibuktikan dari hasil tegangan tanpa beban pada saat awal pengamatan sebesar 17,93 volt sedangkan 72 jam tegangan tanpa beban diperoleh sebesar 16,75 volt.

Penelitian mengenai pengendalian korosi juga telah dilakukan oleh Pauzi, dkk (2019) dengan pemanfaatan jembatan garam. Penelitian ini menganalisis pengaruh jembatan garam terhadap laju korosi elektroda Zn pada sel volta. Pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn digunakan untuk menghasilkan tegangan dan arus dalam sel dengan elektrolit air laut. Desain satu sel volta dan jembatan garam disajikan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Desain satu sel volta dan jembatan garam (Pauzi, dkk., 2019)

Variasi jembatan garam yang digunakan NaCl 0,1 mol, KCl 0,1 mol, NaCl 1 mol, dan KCl 1 mol. Sel elektrokimia terdiri dari 20 sel yang disusun secara seri, sel diisi air laut sebanyak 300 ml. Sel elektrokimia dihubungkan dengan beban LED 3 watt 12 volt selama 1 hari. Pada sistem ini dilakukan pengukuran massa elektroda dan karakteristik elektrik (tegangan, arus dan intensitas cahaya) selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Cu(Ag)-Zn dengan bantuan jembatan garam NaCl 1 mol lebih tahan terhadap korosi air laut dibandingkan dengan jembatan garam NaCl 0,1 mol, KCl 0,1 mol dan KCl 1 mol. Pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn dengan bantuan jembatan garam NaCl 1 mol menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang lebih besar dan stabil dibandingkan dengan jembatan garam NaCl 0,1 mol, KCl 0,1 mol dan KCl 1 mol, arus 2,95 mA dan daya 23,777 mW dengan volume 200 ml pada satu jam pertama.

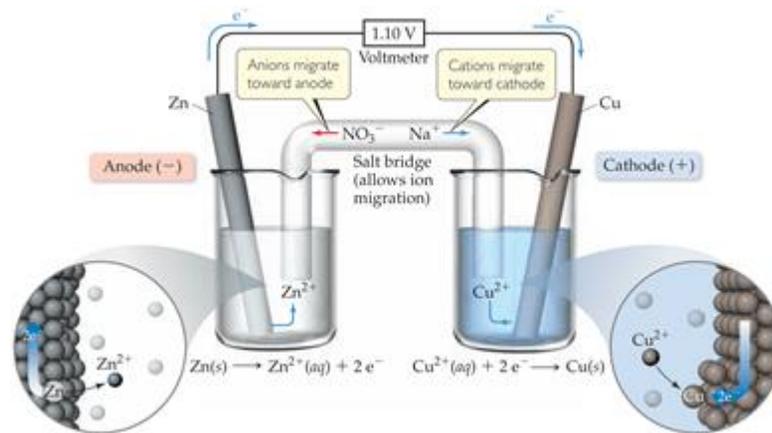
## **2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya**

Penelitian yang akan dilakukan adalah analisis tipe dan konsentrasi jembatan garam pada karakteristik elektrik pembangkit listrik berbahan elektrolit air laut. Penelitian sebelumnya elektroda yang digunakan Cu(Ag)-Zn berbentuk serabut Cu (tembaga) dan menambahkan jembatan garam NaCl dan KCl dengan konsentrasi 0,1 mol dan 1 mol (Pauzi dkk, 2019). Inovasi yang dilakukan adalah elektroda Cu(Ag)-Zn berbentuk serabut Cu (tembaga) serta menambahkan jembatan garam  $Al_2O_3$  yang telah dicampurkan dengan NaCl 1 mol dan jembatan garam AgCl yang telah dicampurkan dengan NaCl 1 mol dalam proses sel elektrokimia. Serabut Cu digunakan untuk memperluas luas permukaan karena luas permukaan mempercepat laju reaksi (Petrucci,

1999). Hasil penelitian menunjukkan adanya jembatan garam untuk menyeimbangkan muatan elektrolit dengan memberi ion positif dan negatif. Sehingga membuat rangkaian menjadi rangkaian tertutup. Aliran elektron ini yang menyebabkan terjadinya arus listrik (Yulianti dkk, 2017; Sartono dkk, 2014; Bariyah, 2010). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis tipe dan konsentrasi jembatan garam pada karakteristik elektrik pembangkit listrik berbahan elektrolit air laut. Hasil analisis ini akan menjadi dasar menghasilkan energi alternatif dari elektroda Cu(Ag)-Zn dengan jembatan garam  $Al_2O_3$  dan AgCl berbahan elektrolit air laut.

### **2.3 Jembatan Garam**

Jembatan garam dalam elektrokimia adalah suatu peralatan laboratorium yang digunakan untuk menghubungkan setengah sel reduksi dan oksidasi dari suatu sel galvanik (sel volta), salah satu jenis sel elektrokimia. Jembatan garam biasanya berupa tabung berbentuk U yang diisi dengan agar-agar yang dijenuhkan dengan KCl. Jembatan garam berfungsi untuk menjaga kenetralan muatan listrik pada larutan. Karena konsentrasi larutan elektrolit pada jembatan garam lebih tinggi daripada konsentrasi elektrolit di kedua bagian elektroda, sehingga ion negatif dan ion positif dari jembatan garam berdifusi ke bagian lain yang kelebihan muatan negatif (Hamann dkk., 1998). Jembatan garam dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Rangkaian sel volta dengan jembatan garam (Brown, dkk., 2015)

Gambar 2.7, terlihat rangkaian sel volta dengan dua kompartemen, masing-masing kompartemen merupakan setengah sel. Pada kompartemen kanan, didalam larutan  $CuSO_4$  terjadi setengah reaksi reduksi ion  $Cu^{2+}$  menjadi  $Cu$ . Sedangkan pada kompartemen kiri, didalam larutan  $ZnSO_4$  terjadi setengah reaksi oksidasi ion  $Zn$  menjadi  $Zn^{2+}$ . Logam  $Zn$  dan  $Cu$  pada sel volta tersebut sebagai elektroda. Logam  $Zn$  merupakan tempat terjadinya oksidasi  $Zn$  yang disebut sebagai anoda. Sedangkan logam  $Cu^{2+}$  merupakan tempat terjadinya reduksi ion  $Cu^{2+}$  yang disebut sebagai katoda. Kedua kompartemen dihubungkan dengan pipa kaca berbentuk U yang berisi larutan garam seperti  $NaNO_3$  atau  $KCl$  dalam medium agar-agar yang disebut sebagai jembatan garam. Fungsi jembatan garam adalah untuk menetralkan muatan listrik dari kedua kompartemen setelah reaksi redoks dan menyuplai anion ke kompartemen anoda dan kation ke kompartemen katoda, serta memungkinkan terjadinya migrasi ion-ion pada kedua kompartemen sehingga membentuk rangkaian listrik tertutup. Gambar 2.7, sel volta menggunakan jembatan garam dengan larutan garam  $KNO_3$ , pada ion  $NO_3^-$  akan bergerak menuju anoda yang berfungsi untuk menetralkan ion  $Zn^{2+}$  berlebih dari

hasil oksidasi Zn, dan ion  $K^+$  akan bergerak menuju katoda yang berfungsi untuk menetralkan ion  $SO_4^{2-}$  berlebih dari larutan  $CuSO_4$  (Brown, dkk., 2015).

## 2.4 Elektrokimia

Salah satu sumber yang dapat menghasilkan energi listrik yaitu melalui metode elektrokimia. Elektrokimia merupakan ilmu kimia yang mempelajari tentang perpindahan elektron yang terjadi pada sebuah media pengantar listrik yang disebut elektroda. Konsep elektrokimia didasari oleh reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit. Reaksi redoks merupakan gabungan dari reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara bersamaan. Pada reaksi reduksi terjadi peristiwa penangkapan elektron sedangkan reaksi oksidasi merupakan peristiwa pelepasan elektron yang terjadi pada media pengantar pada sel elektrokimia (Harahap, 2016). Proses elektrokimia tidak terlepas dari logam yang dicelupkan pada larutan yang biasa disebut sebagai elektroda yang terdiri dari katoda dan anoda. Selain itu, metode elektrokimia membutuhkan media pengantar sebagai terjadinya serah terima elektron dalam suatu sistem reaksi yang dinamakan larutan. Larutan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah dan larutan bukan elektrolit. Ada dua jenis sel elektrokimia, yaitu sel galvanik dan sel elektrolit. Teori elektrokimia dan metode elektrokimia memiliki aplikasi praktis dalam teknologi dan berbagai industri. Penemuan dan pemahaman reaksi elektrokimia telah memberikan kontribusi untuk mengembangkan sel bahan bakar dan baterai, serta pemahaman logam relatif terhadap

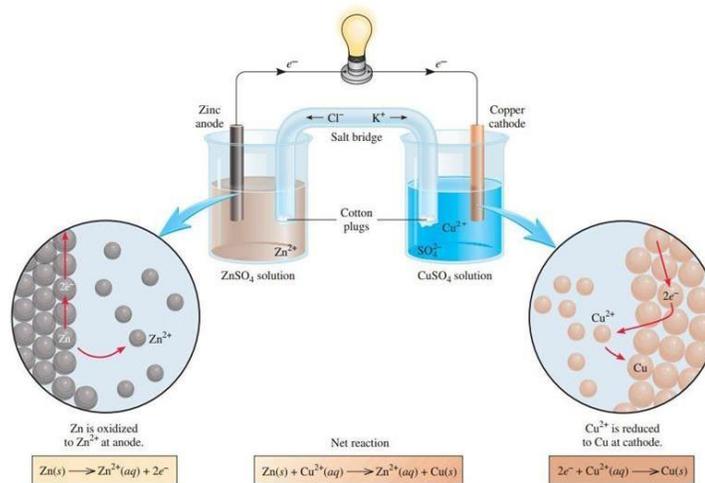
satu sama lain dalam elektrolisis dan korosi. Jika reaksi kimia didorong oleh beda potensial, maka secara eksternal disebut elektrolisis. Ada dua prinsip sel elektrokimia:

1. Sel yang melakukan kerja dengan melepaskan energi dari reaksi spontan.
2. Sel yang melakukan kerja dengan menyerap energi dari sumber listrik untuk menggerakkan reaksi non spontan.

Sel elektrokimia baik yang melepas atau menyerap energi selalu melibatkan perpindahan elektron-elektron dari satu senyawa ke senyawa yang lain dalam suatu reaksi oksidasi reduksi (Mulyono, 2017).

## **2.5 Sel Volta**

Sel volta atau disebut juga sel galvanik merupakan sel elektrokimia yang menghasilkan energi listrik diperoleh dari reaksi kimia yang berlangsung spontan. Penelitian mengenai sel volta pertama kali dilakukan oleh ilmuwan yang bernama Alexander Volta dan Luigi Galvani pada tahun 1786. Bermula dari penemuan baterai yang berasal dari cairan garam (Harahap, 2016). Pada sel volta elektroda kutub negatif disebut anoda, sedangkan untuk kutub positif adalah katoda. Untuk prinsip kerja sel volta, arus listrik yang dihasilkan pada sel volta disebabkan adanya beda potensial antara kedua elektroda. Syarat utama sel volta, yaitu adanya elektroda (anoda dan katoda) dan larutan elektrolit. Contoh sel volta adalah anoda dan katoda dicelupkan ke dalam larutan elektrolit yang terhubung oleh jembatan garam. Jembatan garam berfungsi sebagai pemberi suasana netral dari larutan yang menghasilkan listrik (Bird, 1993). Prinsip kerja dari sel volta dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Prinsip kerja sel volta (Zoski, 2007)

Sel volta dibedakan menjadi tiga jenis yaitu sel volta primer, sel volta sekunder dan sel volta bahan bakar. Sel volta primer merupakan sel volta yang tidak dapat diperbarui (sekali pakai) dan bersifat tidak dapat balik (*irreversible*) contohnya baterai kering. Sel volta sekunder merupakan sel volta yang dapat diperbarui dan bersifat dapat balik (*reversible*) ke keadaan semula, contohnya baterai aki. Sel volta bahan bakar (*full cell*) adalah sel volta yang tidak dapat diperbarui tetapi tidak habis, contohnya sel campuran bahan bakar pesawat luar angkasa (Mulyono, 2017).

Deret volta disusun berdasarkan daya oksidasi dan reduksi dari masing-masing logam.

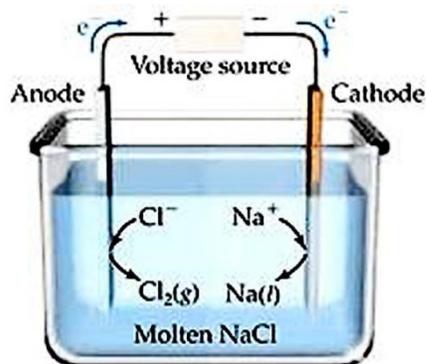
Urutan deret volta tersebut sebagai berikut:

Li – K – Ba – Sr – Ca – Na – Mg – Al – Zn – Cr – Fe – Cd – Co – Ni – Sn – Pb – H –  
Cu – Hg – Ag – Pt – Au

Pada deret volta, unsur logam dengan potensial elektroda lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektroda yang lebih positif ditempatkan dibagian kanan.

## 2.6 Sel Elektrolisis

Sel elektrolisis merupakan sel elektrokimia yang menggunakan sumber energi listrik untuk mengubah reaksi kimia yang terjadi. Adapun rangkaian sel elektrolisis secara singkat disajikan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Sel elektrolisis (Brown, dkk., 2015)

Gambar 2.9 merupakan skema dari susunan sel elektrolisis yang terdiri dari sumber arus searah yang dihubungkan dengan kawat penghantar pada dua buah elektroda (katoda dan anoda), kedua ujung elektroda dicelupkan dalam bejana berisi cairan elektrolit. Pada sel elektrolisis, katoda berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi reduksi dan sebagai muatan negatif, sedangkan anoda berfungsi sebagai tempat berlangsung reaksi oksidasi dan sebagai muatan positif (Brown, dkk., 2015).

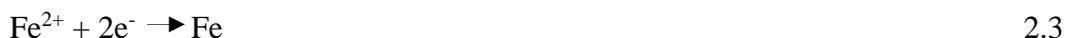
Penggunaan jenis elektroda sangat menentukan reaksi yang terjadi pada sel elektrolisis. Elektrolisis larutan dengan elektroda inert, reaksi yang terjadi di anoda dan katoda adalah sebagai berikut.

### 1. Reaksi di Katoda

Kation logam dari golongan IA, IIA, IIIA, Aluminium, dan Mn tidak dapat tereduksi dalam pelarut air sehingga air yang mengalami reaksi reduksi sebagai berikut:



Kation  $\text{H}^+$  dan logam selain golongan IA, IIA, IIIA, Aluminium (Al) dan Mangan (Mn) dapat tereduksi sebagai berikut:

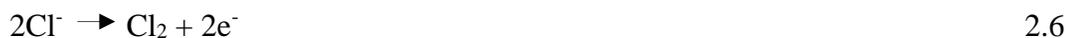


### 2. Reaksi di anoda

Anion sisa asam oksida ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ) tidak dapat teroksidasi dalam pelarut air, sebagai gantinya air yang mengalami oksidasi sebagai berikut:



Anion lain ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ ) mengalami oksidasi:



Reaksi yang terjadi pada sel elektrolisis dengan elektroda aktif biasanya terjadi pada anoda. Anoda mengalami reaksi oksidasi dan diikuti oleh reaksi reduksi di katoda (logam terdeposisi di katoda). Elektrolisis dengan elektroda aktif biasanya menggunakan elektrolit garam, basa, atau oksida dari anoda. Elektroda yang digunakan disesuaikan dengan tujuan elektrolisis. Contoh elektroda yang biasa digunakan yaitu C, Pt, Fe, Al, Cu, Zn, Ag dan Au (Riyanto, 2013). Salah satu aplikasi dari sel elektrolisis yaitu penyepuhan logam emas dengan menggunakan larutan elektrolit yang mengandung unsur emas (Au). Hal ini dilakukan untuk melapisi kembali perhiasan yang kadar emasnya sudah berkurang (Harahap, 2016).

## 2.7 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrolit. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit mempunyai sifat asam, basa atau garam. Seperti contohnya ikatan ion NaCl yang salah satu jenis garam yaitu garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan dan lelehan atau bentuk *liquid* dan *aqueous* (Fariya, 2015). Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H<sub>2</sub>O, satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K (0°C) (Maron, 1998). Molekul air dapat diuraikan menjadi unsur-unsur asalnya dengan mengalirinya arus listrik. Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron,

tereduksi menjadi gas  $H_2$  dan ion hidroksida ( $OH^-$ ). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen ( $O_2$ ), melepaskan 4 ion  $H^+$  serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion  $H^+$  dan  $OH^-$  mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan (Sunde, 2012). Air laut merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam-garam, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Air laut berasa asin karena memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Kandungan garam di setiap laut berbeda-beda kandungannya. Apabila air sungai mengalir ke lautan, air tersebut membawa garam. Lama-kelamaan air laut menjadi asin karena banyak mengandung garam (Yuningsih dan Masduki, 2011). Karena konsep dasar elektrokimia adalah adanya pertukaran ion-ion positif dan negatif. Sedangkan garam itu mengandung ion positif dan negatif, semakin banyak kadar garam maka akan menghasilkan energi listrik yang besar (Ramlan dan Pradhani, 2008).

## **2.8 Elektroda**

Elektroda merupakan konduktor yang dapat dilalui arus listrik dari satu media ke media yang lain. Elektroda biasanya terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi terdapat juga elektroda yang terbuat dari bahan konduktor listrik non-logam, seperti grafit. Elektroda dapat digunakan dalam baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis (Chang, 2003). Pasangan elektroda yang sering dimanfaatkan pada sel elektrokimia yang memiliki kinerja serta keluaran

energi listrik yang baik adalah logam tembaga dan zink (Hudaya, 2016; Susanto dkk., 2017A; Susanto dkk., 2017B). Menurut Suyanta (2013), pasangan elektroda pada logam Cu dan Zn jika digunakan pada sel elektrokimia maka akan mengalami reaksi reduksi dan oksidasi. Reaksi reduksi adalah reaksi yang terjadi penurunan bilangan oksidasi melalui penangkapan elektron. Reaksi dari elektroda tersebut dapat dilihat seperti berikut.



Sedangkan reaksi oksidasi adalah reaksi yang terjadi peningkatan bilangan oksidasi melalui pelepasan elektron, contohnya:



Dalam reaksi redoks, reaksi reduksi dan oksidasi terjadi secara simultan, maka reaksi diatas menjadi:



## 2.9 Potensial Elektroda

Arus listrik yang terjadi pada sel volta disebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif ke elektroda positif. Hal ini disebabkan karena perbedaan potensial antara kedua elektroda, misalnya kita mengukur perbedaan potensial ( $\Delta V$ ) antara dua elektroda dengan menggunakan potensiometer ketika arus listrik yang dihasilkan mengalir sampai habis, maka akan diperoleh perbedaan potensial sehingga perbedaan potensial ini disebut sebagai potensial sel ( $E^{\circ}$  sel). Perbedaan potensial yang diamati bervariasi terhadap jenis bahan elektroda, konsentrasi dan temperatur larutan elektrolit.

Sebagai contoh untuk sel Daniell, bila diukur dengan voltmeter beda potensial pada suhu 25°C saat konsentrasi ion  $Zn^{2+}$  dan  $Cu^{2+}$  sama adalah 1,10 volt. Bila elektroda  $Cu^{2+}$  dalam sel Daniell diganti dengan elektroda  $Ag/Ag^+$ , potensial sel adalah 1,56 volt. Jadi dengan berbagai kombinasi elektroda dapat menghasilkan nilai potensial sel yang sangat bervariasi (Anderson, dkk., 2010).

Potensial elektroda diukur dengan memperhatikan potensial elektroda standar, yang dilambangkan  $E^\circ$ . Daftar harga potensial elektroda untuk logam-logam yang penting seperti pada Tabel 2.1 (Utami, dkk., 2009).

**Tabel 2.1** Nilai potensial elektroda (Utami, dkk., 2009)

Reaksi Reduksi	Logam	$E^\circ$ (volt)
$Li^+ + e^-$	Li	-2,96
$K^+ + e^-$	K	-2,92
$Na^+(aq) + e^-$	Na	-2,71
$Mg^{2+} + 2e^-$	Mg	-2,37
$Al^{3+}(aq) + 3e^-$	Al	-1,66
$Zn^{2+} + 2e^-$	Zn	-0,76
$Cr^{3+}(aq) + 3e^-$	Cr	-0,74
$Fe^{2+}(aq) + 2e^-$	Fe	-0,41
$Ni^{2+}(aq) + 2e^-$	Ni	-0,23
$Sn^{2+}(aq) + 2e^-$	Sn	-0,14
$Fe^{3+} + 3e^-$	Fe	-0,04
$2H^+ + 2e^-$	$H_2$	0,00
$Cu^{2+} + 2e^-$	Cu	+0,34
$Cu^+ + e^-$	Cu	+0,52
$Ag^+ + e^-$	Ag	+0,80

Berdasarkan Tabel 2.1, maka logam Cu dan Zn apabila digunakan sebagai elektroda pada reaksi elektrokimia pada persamaan 2.11 maka dapat dihitung potensial elektroda dengan persamaan berikut:

$$E^{\circ}_{sel} = E^{\circ}_{reduksi} - E^{\circ}_{oksidasi} \quad 2.12$$

Sehingga besarnya potensial elektroda Cu dan Zn dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E^{\circ}_{sel} &= E^{\circ}_{reduksi} - E^{\circ}_{oksidasi} \\ &= E^{\circ}(Cu^{2+}) - E^{\circ}(Zn^{2+}) \\ &= +0,34 - (-0,76) \\ &= +1,1 \text{ volt} \end{aligned} \quad 2.13$$

(Suyanta, 2013).

## 2.10 Karakteristik Air Laut

Air laut merupakan air murni yang didalamnya terdiri dari 96,5% air dan 3,5% zat terlarut yang biasa disebut garam. Garam-garaman utama yang terkandung dalam air air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potassium (1%), dan sisanya tidak sampai 1% terdiri dari bikarbonat, bromida, borak, strontium dan florida (Nybakken, 1992).

Air laut merupakan lingkungan yang korosif untuk logam, terutama karena resistivitas air laut sangat rendah ( $\pm 25 \text{ Ohm-cm}$ ) dibandingkan resistivitas air tawar ( $\pm 4000 \text{ Ohm-cm}$ ). Air laut memiliki tingkat keasaman lebih tinggi pada permukaan. Tingkat keasaman (pH) terbentuk karena kandungan 93% karbon anorganik berupa  $\text{HCO}_3^-$ , 6% berupa  $\text{CO}_3^{2-}$  dan 1% berupa  $\text{CO}_2$ . Ion karbonat relatif tinggi pada permukaan dan hampir selalu jenuh dengan  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat). Hal ini menyebabkan terjadinya pengendapan jenuh (*calcareous scale*) pada permukaan logam. Kandungan garam dan temperatur sangat menentukan penghantaran listrik pada air laut, yang merupakan salah satu faktor mempercepat terjadinya proses korosi. Pada kadar garam

yang sama, kenaikan temperatur air laut menyebabkan daya hantar listrik air laut meningkat, sedangkan pada temperatur air laut yang sama dengan kadar garam yang meningkat menyebabkan hantaran listrik air laut naik (Sasonno, 2010). Menurut Jones (1992), laju korosi di lingkungan air laut sangat tinggi karena faktor-faktor berikut.

a. Tingginya konsentrasi garam-garam terlarut

Meningkatnya kandungan NaCl dalam air laut menyebabkan laju korosi juga meningkat.

b. Perubahan temperatur air laut

Meningkatnya temperatur air laut menyebabkan laju korosi logam meningkat pula.

c. Kandungan oksigen terlarut

Adanya perbedaan kandungan oksigen dalam air laut menyebabkan terjadinya korosi lokal pada logam.

d. Keasaman (pH) air laut

Air laut umumnya memiliki  $\text{pH} < 8$  pada permukaan. Pada pH ini dapat menyebabkan terjadi korosi pada logam dalam air laut.

e. Organisme biologi

Air laut merupakan media aktif bagi sejumlah mikroorganisme. Mikroorganisme pada permukaan logam dalam air akan menyebabkan korosi merata atau lokal.

## **2.11 Karakteristik Tembaga (Cu) dan Seng (Zn)**

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu, berasal dari Bahasa latin *cuprum* dan nomor atom 29. Bernomor massa 63,54 dan

merupakan unsur logam dengan warna kemerahan. Cu merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Cu murni sifatnya halus dan lunak dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Cu mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi diantara semua logam-logam pada suhu kamar, hanya Ag yang mempunyai konduktivitas listrik lebih tinggi daripada Cu, namun apabila dioksidasikan struktur jalurnya memantulkan cahaya merah dan jingga serta menyerap frekuensi-frekuensi lain dalam spektrum tampak. Cu sangat langka dan jarang diperoleh dalam bentuk murni (Milanino, dkk., 1989).

Tembaga merupakan logam berwarna kekuningan seperti emas kuning dan memiliki sifat keras bila tembaga tersebut tidak murni, tembaga mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat. Tembaga memiliki konduktivitas listrik yang tinggi yaitu sebesar  $59,6 \times 10^6$  S/m, oleh karena itu tembaga memiliki konduktivitas termal yang tinggi atau kedua tertinggi diantara semua logam murni pada suhu kamar (Hammond, 2004).

Pasangan elektroda tembaga yang biasa digunakan sebagai muatan negatif adalah seng atau Zn. Seng dengan nama kimia *Zinc* dilambangkan dengan Zn merupakan salah satu unsur logam berat, Zn mempunyai nomor atom 30 dan memiliki berat atom 65,39. Zn dalam pemanasan tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir. Beberapa unsur kimia Zn mirip dengan Mg, dikarenakan ion kedua unsur ini berukuran hampir sama. Selain itu, keduanya juga memiliki keadaan oksidasi +2 (Widowati, dkk., 2008). Pelapisan Zn pada baja untuk mencegah perkaratan merupakan aplikasi utama Zn, aplikasi lainnya meliputi penggunaannya pada baterai. Zn adalah logam memiliki

karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar bila terkena uap udara dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Zn dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Zn dialam tidak berada dalam keadaan bebas, tetapi dalam bentuk terikat dengan unsur lain berupa mineral. Mineral yang mengandung Zn dialam bebas antara lain kalaminit, franklinite, smitkosonit, willenit dan zinkit (Sugiyarto dan Retno, 2010).

### **2.12 Karakteristik Perak (Ag)**

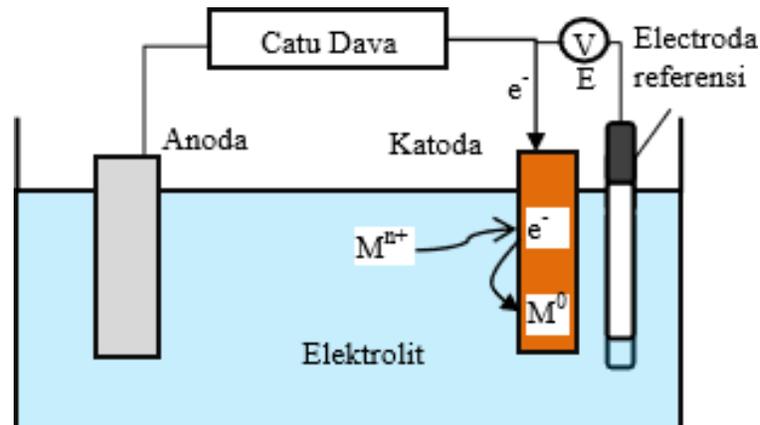
Perak merupakan unsur logam dengan nomor 47 yang memiliki lambang Ag. Perak murni termasuk logam transisi yang lunak, berwarna putih, dan berkilau. Perak murni memiliki nilai konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan reflektivitas tertinggi diantara semua logam, serta nilai resistansinya yang sangat kecil. Nilai konduktivitas listrik dan termal dari logam perak mencapai  $6.3 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$  dan  $429 \text{ Wm}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Perak memiliki nilai densitas sebesar  $10,49 \text{ gr/cm}^3$ . Perak murni bersifat stabil di udara murni dan air, tetapi dapat ternoda ketika terkena ozon, hidrogen sulfida atau udara yang mengandung sulfur. Perak banyak digunakan untuk perhiasan, koin, alat fotografi, alat-alat kesehatan dan baterai. Reaksi perak dengan unsur lainnya juga banyak dimanfaatkan, seperti perak iodida digunakan dalam penyemaian awan untuk menghasilkan hujan dan perak klorida memiliki sifat optik yang menarik karena dapat dibuat transparan (Hammond, 2004).

### 2.13 Elektroplating

Elektroplating atau penyepuhan merupakan pelapisan suatu logam dengan logam lainnya. Proses elektroplating terjadi adanya proses perpindahan ion logam dengan bantuan listrik melalui larutan elektrolit, sehingga ion logam anoda mengendap pada logam yang akan dilapisi (katoda). Proses elektroplating bisa dikatakan kebalikan dari proses korosi, karena pada proses elektroplating yang mengalami penyusutan adalah bahan pelapis atau anoda, sedangkan yang terjadi pengendapan yaitu pada permukaan katoda atau material yang akan dilapisi (Tauvana, 2016).

Proses elektroplating biasanya dilakukan dalam suatu bejana yang disebut sel elektrolisis yang berisi cairan elektrolit. Dalam proses elektroplating juga diperlukan dua buah elektroda dan sumber arus listrik. Sumber arus listrik dapat dihasilkan dari suatu sumber arus listrik searah (DC), dapat berupa batu baterai, *accumulator* atau pengubah, arus (*rectifier*) yang dihubungkan dengan kedua elektroda (anoda dan katoda). Anoda terhubung dengan kutub positif sumber arus (+), sedangkan katoda terhubung dengan kutub yang berlawanan (-). Anoda yang digunakan ada yang larut dalam elektrolit, ada pula yang tidak. Anoda yang tidak larut berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja, sedangkan anoda yang larut selain berfungsi sebagai penghantar arus listrik juga berfungsi sebagai bahan pelapis. Ketika arus listrik searah dari sumber arus dialirkan di antara kedua elektroda dalam larutan elektrolit, maka pada anoda akan terjadi pelepasan ion logam dan reduksi oksigen, selanjutnya ion logam tersebut dan gas hidrogen dicelupkan pada katoda (Supriadi, dkk., 2013).

Berikut ini rangkaian alat elektroplating dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Rangkaian alat elektroplating (Widayatno, dkk., 2015)

Reaksi reduksi pada permukaan katoda dapat berlangsung karena pergeseran potensial elektroda dari kondisi setimbangnya yang disebabkan oleh dorongan potensial listrik (*potential driving force*) dari catu daya. Perbedaan potensial ini disebut overpotensial ( $\eta$ ). Pada saat elektroda disambungkan ke catu daya, arus listrik akan mengalir dari katoda ke anoda. Kemudian, reaksi reduksi akan terjadi pada ion-ion logam, misalnya  $\text{Ln}^+$  menjadi logam padat yang mengendap pada permukaan katoda (Paunovic dan Schlesinger, 1998). Elektroplating sangat dipengaruhi oleh generasi sel elektrokimia, pH dan konduktivitas larutan elektrolit, konduktivitas elektroda, kinetika reaksi elektrokimia di permukaan elektroda dan transfer massa ion-ion yang bereaksi (Widayatno, 2016).

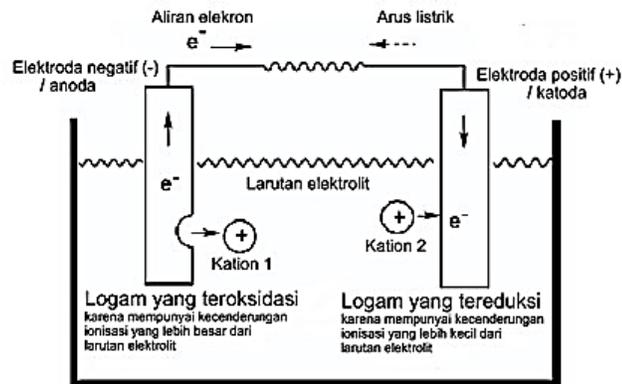
## 2.14 Korosi

Korosi merupakan penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain yang terdapat di dalam. Adapun syarat terjadinya korosi sebagai

berikut.

- a. adanya katoda,
- b. adanya anoda, dan
- c. adanya lingkungan.

Tanpa adanya salah satu syarat di atas maka korosi tidak akan terjadi. Korosi tidak dapat dihilangkan tetapi hanya dapat di minimalisir pertumbuhannya (Shidiq, 2013). Kecepatan korosi sangat tergantung pada banyak faktor, karena lapisan oksida dapat menghalangi beda potensial terhadap elektroda lainnya yang akan sangat berbeda bila masih bersih dari oksida. Pada proses korosi ada dua reaksi terjadinya korosi yaitu reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Pada reaksi oksidasi akan terjadi pelepasan elektron oleh material yang lebih bersifat anodik. Sedangkan reaksi reduksi adalah pemakaian elektron oleh material yang lebih bersifat katodik (Mulyono, 2017). Proses korosi secara galvanis dapat kita lihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Proses korosi secara galvanis (Mulyono, 2017)

Laju korosi suatu logam dapat dihitung dengan metode kehilangan massa dengan rumus (Jones, 1992):

$$r = \frac{km}{\rho AT} \quad 2.14$$

dengan:

$r$  = Laju korosi (mm/hari);

$K$  = Konstanta ( $8,76 \times 10^4$ );

$m = m_0 - m_1$  = massa awal – massa akhir (gr);

$\rho$  = Densitas ( $\text{gr/cm}^3$ );

$A$  = Luas permukaan ( $\text{cm}^2$ );

$T$  = Waktu (jam).

Berdasarkan penjelasan di atas korosi tidak dapat dihindari, tetapi dapat dihambat dengan aplikasi prinsip-prinsip elektrokimia, secara tumbal anoda, proteksi katodik, proteksi anodik, pelapisan dan penggunaan inhibitor (Rahmawati, 2013).

### 2.15 Laju Reaksi

Laju reaksi dapat digambarkan seberapa cepat reaktan terpakai dan produk itu terbentuk. Laju reaksi dapat disebabkan dari beberapa faktor diantaranya suhu konsentrasi, luas permukaan dan katalis. Kenaikan suhu dapat mempercepat laju reaksi karena dengan naiknya suhu energi kinetik partikel zat-zat meningkat sehingga memungkinkan semakin banyaknya tumbukan efektif yang menghasilkan perubahan. Luas permukaan mempercepat laju reaksi karena semakin luas permukaan zat, semakin banyak bagian zat yang saling bertumbukan dan semakin besar peluang adanya tumbukan efektif menghasilkan perubahan semakin luas permukaan zat, semakin kecil

ukuran partikel zat. Jadi semakin kecil ukuran suatu partikel zat, maka reaksi yang akan terjadi semakin cepat (Petrucci, 1999).

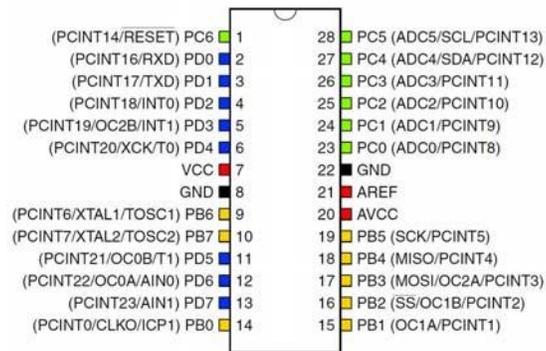
## 2.16 Arduino Nano

Arduino nano adalah sebuah *board* yang mempunyai ukuran kecil yang dirancang berdasarkan Atmega328 atau Atmega168. Dengan ukuran yang kecil *board* ini sangat praktis digunakan sehingga membuatnya menjadi mikrokontroler paling populer. Kekurangan pada *board* ini yaitu tidak memiliki port untuk DC *power*, dan bekerja hanya dengan kabel Mini-B USB. *Board* Arduino nano didesain dan diproduksi oleh Gravitech (Muchtar dan Asep, 2017). Bentuk fisik Arduino nano seperti Gambar 2.12



**Gambar 2.12** Arduino nano (Muchtar dan Asep, 2017)

Arduino nano mempunyai 14 pin digital yang dapat digunakan sebagai input atau output. Pin Arduino memiliki fungsinya masing-masing. Berikut Gambar 2.13 ini menunjukkan layout *board* Arduino nano serta keterangannya.



**Gambar 2.13** Pin Arduino nano (Muchtart dan Asep, 2017)

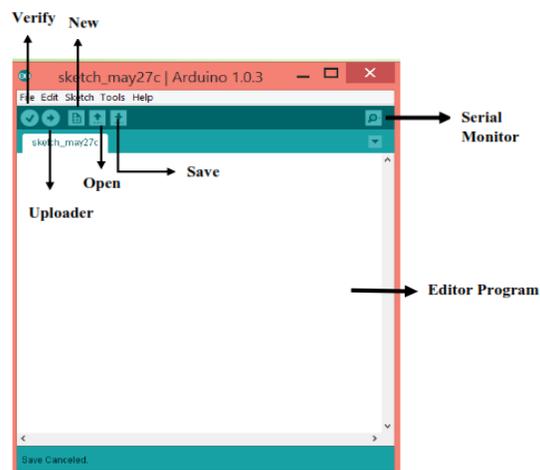
Spesifikasi dari Arduino nano disajikan pada Tabel 2.2:

**Tabel 2.2** Spesifikasi Arduino nano (Syahwil, 2013)

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Mikrokontroler	Atmega328
2	Tegangan operasi	5 V
3	Tegangan input	7-12 V
4	Batas tegangan input	6-20 V
5	Pin I/O Digital	14 (dimana 6 dipakai untuk output PWM)
6	Pin input analog	8
7	Arus DC per pin I/O	40 Ma
8	Flash memori	32 kB
9	SRAM	2 Kb
10	EEPROM	1 kB
11	Kecepatan clock	16 MHz
12	Dimensi	18 x 45 mm
13	Berat	7 gram

Dalam mengoperasikan Arduino harus menggunakan software untuk memasukkan program. Software tersebut adalah IDE (*Integrated Development Environment*)

merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Disebut sebagai lingkungan karena melalui software inilah Arduino dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsi-fungsi yang dibenamkan melalui sintaks pemrograman. Arduino menggunakan Bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai Bahasa C. Tampilan lembar kerja dan fungsi dari software Arduino IDE disajikan pada Gambar 2.14.

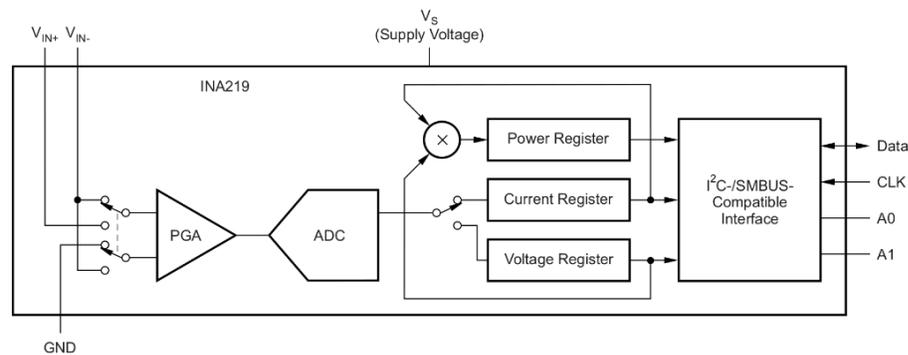


**Gambar 2.14** Lembar kerja Arduino IDE (Syahwil, 2013)

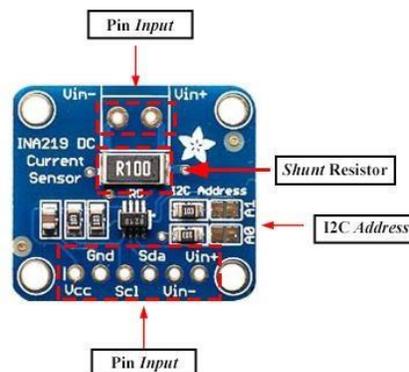
## 2.17 Sensor INA219

Sensor INA219 merupakan modul sensor yang dapat memonitoring arus dan tegangan pada suatu rangkaian listrik. INA219 didukung dengan *interface* I2C atau SMBUS-COMPATIBLE dimana perangkat ini mampu memonitoring tegangan *shunt* dan tegangan *bus*. Tegangan *shunt* merupakan tegangan pada  $V_{IN+}$  dan  $V_{IN-}$  sedangkan tegangan *bus* adalah tegangan pada  $V_{IN-}$  dan GND. Modul ini dapat mengidentifikasi tegangan *shunt* dengan variasi sebesar 0 – 26 volt dan bekerja pada suhu  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga

125°C. Sementara itu, *supply* tegangan dan arus dari sensor ini masing-masing sebesar 3 – 5,5 volt dan 1 mA. Bagian-bagian terpenting dari sensor ini meliputi *power gain amplifier* (PGA), *analog to digital converter* (ADC), register arus, register tegangan dan register daya. Prinsip kerja dari sensor ini adalah sensor akan mendeteksi tegangan *bus* dan tegangan *shunt* secara bergantian kemudian akan mengkonversinya langsung menjadi digital dengan ADC. ADC akan mengirimkan sinyal digital tersebut ke register arus dan register tegangan sedangkan register daya diperoleh dengan mengalikan tegangan dan arus yang diperoleh dari masing-masing register tersebut. Kemudian data digital tersebut akan dikirimkan melalui komunikasi I2C menuju Arduino (Texas Instruments, 2015).



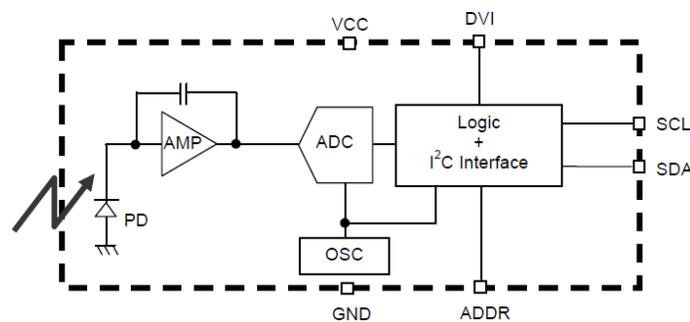
**Gambar 2.15** Skematika INA219 (Texas instruments, 2015)



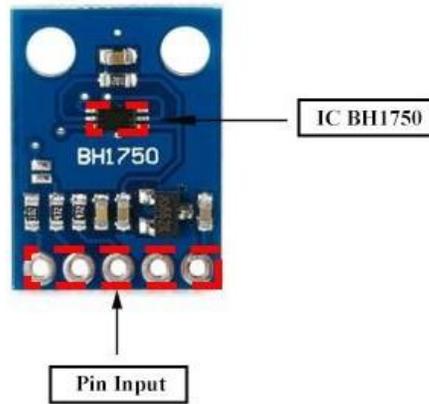
**Gambar 2.16** Sensor INA219 (Texas instruments, 2015)

## 2.18 Sensor BH1750

Modul BH1750 menggunakan komunikasi I2C dengan kemampuan jangkauan dan resolusi mendeteksi cahaya 1 – 65535 lux. Jika dibandingkan dengan sensor lain seperti fotodioda dan LDR (*Light Dependent Resistor*), penggunaan sensor BH1750 lebih akurat dan lebih mudah digunakan untuk mendapatkan data iluminasi cahaya. Bagian-bagian terpenting dari sensor ini meliputi fotodioda, *amplifier*, *analog to digital converter* (ADC), *internal oscillator*, *logic*, dan *I2C interface*. Prinsip kerja sensor ini ialah ketika cahaya datang fotodioda akan mendeteksi cahaya tersebut dimana pada fotodioda modul ini memiliki respon seperti manusia. Kemudian besaran fisis (cahaya yang datang) akan diubah menjadi besaran elektrik yang berupa listrik lalu dikuatkan menggunakan *amplifier*. Setelah dikuatkan, sinyal analog tersebut dikonversi menjadi sinyal digital dengan ADC dan data akan dikirimkan melalui I2C sesuai dengan perintah program yang ada pada Arduino (Rohm Semiconductor, 2011).



**Gambar 2.17** Konfigurasi sensor BH1750 (Rohm Semiconductor, 2015)

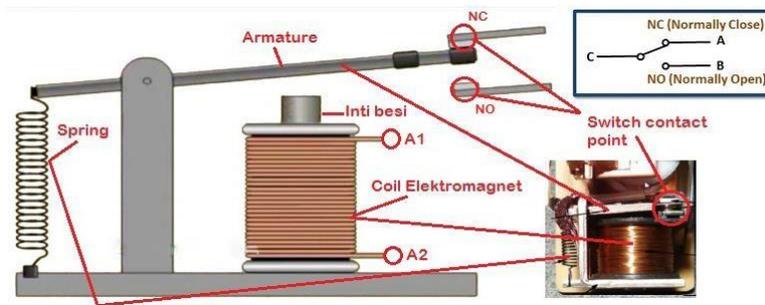


**Gambar 2.18** Sensor BH1750 (Tamamy, 2019)

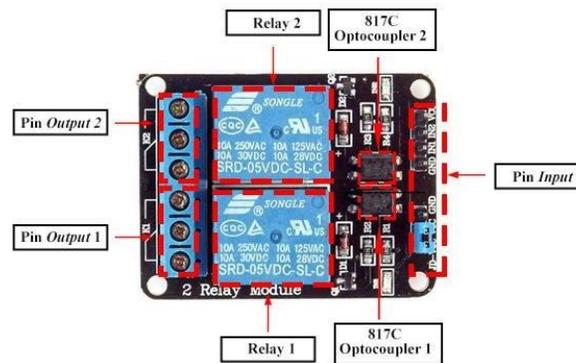
## 2.19 Relay

*Relay* merupakan *switch* (saklar) yang dijalankan dengan memanfaatkan arus listrik. Pada penelitian ini *relay* dimanfaatkan sebagai saklar yang secara otomatis menghidupkan dan mematikan beban lampu yang terhubung dengan sel elektrokimia sehingga memudahkan pengukuran tegangan dengan beban dan tanpa beban. *Relay* menggunakan konsep elektromekanikal yang terdiri dari 2 komponen penting yakni saklar atau *switch* (mekanikal) dan koil (elektromagnet). Prinsip kerja *relay* yaitu jika koil dialiri oleh arus listrik maka akan timbul gaya electromagnet yang akan menarik *armature* yang berpegas (Putra, dkk., 2018). *Relay* terdiri dari dua jenis kontak poin, yaitu:

- a. kontak poin NC (*Normally Closed*), yakni kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *close* (tertutup);
- b. kontak poin NO (*Normally Open*), yakni kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *open* (terbuka) (Wahyono, 2018).



**Gambar 2.19** Prinsip kerja *relay* (Saleh dan Munnik, 2017)



**Gambar 2.20** *Relay 2 channel* (Saleh dan Munnik, 2017)

## 2.20 Modul RTC (*Real Time Clock*)

RTC (*Real Time Clock*) DS3231 merupakan sebuah modul pembaca waktu sangat akurat meliputi hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit dan detik yang dilengkapi fitur pembaca suhu. Pengakses data pada modul ini dilakukan dengan komunikasi I2C sehingga hanya memanfaatkan 2 jalur yakni jalur SDA (*serial data*) dan jalur SCL (*serial clock input*). Jalur SCL berfungsi untuk menyinkronasi pergerakan data pada *serial interface* sedangkan SDA merupakan pin *input/output* untuk 2 jalur *serial interface* (Idris dan Indra, 2014).

RTC DS3231 membutuhkan suplai tegangan 5V yang berasal dari pin VCC Arduino

dan suplai internal berupa baterai 3.3V. Suplai internal ini berfungsi sebagai pendetak (*counting*) agar data waktu tidak berubah saat pin VCC Arduino tidak terhubung (Maxim Integrated, 2015). Berikut ini merupakan modul RTC DS3231 yang ditunjukkan pada Gambar 2.21.



**Gambar 2.21** Real time clock DS3231 (Nabilah, dkk., 2016)

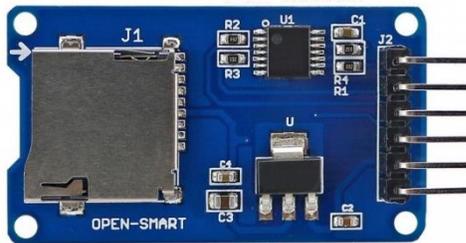
## 2.21 Data Logger

*Data logger* atau perekam data merupakan suatu alat yang dapat dihubungkan dengan sejumlah sensor untuk mencuplik sinyal sensor, mengubah sinyal menjadi bentuk digital, mengolah sinyal digital, menyimpan data pada waktu yang telah ditentukan atau tergantung perintah eksternal serta mengirim data ke perangkat lain (Brock dan Richardson, 2001). Media penyimpanan data yang digunakan pada penelitian ini ialah *micro secure digital (Micro SD) card* sedangkan media perekaman yang digunakan adalah *micro SD Card Adapter*. Modul *micro SD Card Adapter* adalah modul yang digunakan untuk membaca dan menulis kartu *Micro SD* melalui antarmuka driver SPI (*Serial Peripheral Interface*). Komunikasi serial data pada SPI diatur melalui 4 buah

pin yang terdiri dari SCK, MOSI, MISO dan CS. Berikut penjelasan mengenai pin SPI, yakni:

- a. *Serial clock (SCK)* merupakan data biner yang keluar dari *master* ke *slave* yang berfungsi sebagai *clock* dengan frekuensi tertentu;
- b. *Master out slave in (MOSI)* merupakan pin yang berfungsi sebagai jalur data keluar dari *master* dan masuk ke dalam *slave*;
- c. *Master in slave out (MISO)* merupakan pin yang berfungsi sebagai jalur data yang keluar dari *slave* dan masuk ke dalam *master*;
- d. *Chip Select (CS)* merupakan pin yang berfungsi untuk mengaktifkan *slave* sehingga pengiriman data dapat dilakukan jika *slave* dalam keadaan aktif (Mutohar, 2008).

Berikut ini merupakan *Micro SD Card Adapter* yang ditunjukkan pada Gambar 2.22.



**Gambar 2.22** *Micro SD Card Adapter* (Gunawan, 2015)

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Juli 2020 sampai Desember 2020.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat penunjang yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mesin gerinda dan gunting, digunakan untuk memotong tembaga dan seng dalam pembuatan elektroda.
2. Tang, digunakan untuk membentuk kabel penghubung.
3. Multimeter, digunakan sebagai perangkat untuk mengukur besaran elektrik.
4. Solder, digunakan untuk menghubungkan kabel antar elektroda.
5. IDE Arduino, digunakan sebagai program pengendalian Arduino.
6. Eagle, digunakan sebagai program dalam desain rangkaian PCB.
7. *Digital light meter*, digunakan sebagai perangkat untuk mendeteksi intensitas cahaya.

8. PC (*Personal Computer*), digunakan untuk mengolah pemrograman dan pembuatan laporan penelitian.

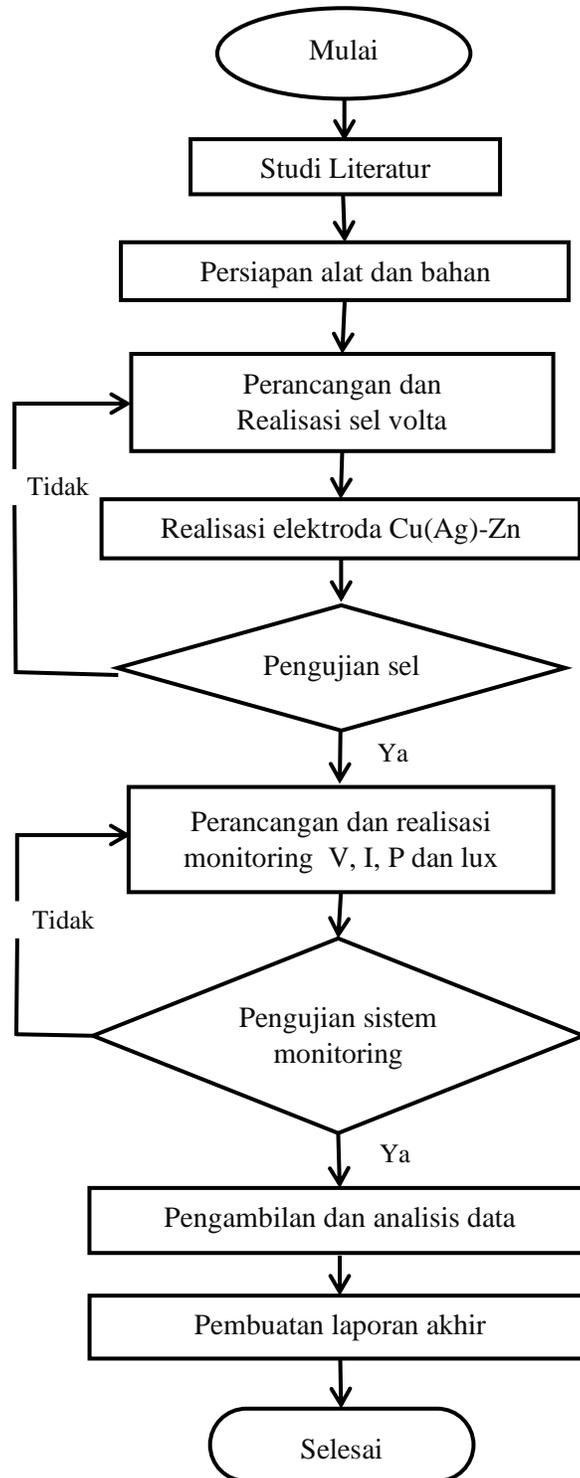
Sedangkan bahan yang digunakan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Akrilik, sebagai penampung setiap sel elektrolit dan kerangka alat utama.
2. Air laut, digunakan sebagai elektrolit.
3. Tembaga (Cu) dan seng (Zn), digunakan sebagai elektroda.
4. Lem *dextone*, digunakan sebagai perekat untuk membentuk kerangka alat.
5. Tempat penampung, digunakan sebagai penampung air laut.
6. Selang, digunakan sebagai saluran pembuangan.
7. Kabel serabut ukuran 2,5 mm sepanjang 120 cm sebanyak 20 buah, digunakan sebagai katoda.
8. Zn berukuran 4 x 7 x 0,002 cm sebanyak 20 buah, digunakan sebagai anoda.
9. Larutan sepuh perak ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,02 M digunakan sebagai larutan elektrolit pada proses elektroplating.
10. Kabel penghubung, digunakan sebagai penghubung antar elektroda.
11. Filter air, digunakan untuk memfilter air laut.
12. LED, digunakan sebagai beban untuk menguji energi listrik dari alat.
13. Larutan  $\text{HNO}_3$  1%, digunakan untuk membersihkan logam Cu sebelum di elektroplating.
14. Etanol 70%, digunakan untuk membersihkan logam Cu setelah dibersihkan dengan larutan  $\text{HNO}_3$  1%.
15. Aquades, digunakan untuk mengencerkan larutan sepuh.

16. Karbon (C), digunakan untuk proses elektroplating.
17.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ , dan semen baturaja, digunakan sebagai jembatan garam.
18. Arduino Nano, sebagai pengendalian sistem *monitoring* energi listrik.
19. Sensor INA219, sebagai pendeteksi tegangan dan arus.
20. Sensor BH1750, sebagai pendeteksi intensitas cahaya.
21. Relay, sebagai saklar lampu otomatis.
22. Modul RTC (*Real Time Clock*), sebagai penghitung waktu.
23. *Micro SD Card*, digunakan sebagai media penyimpanan data parameter elektrik.
24. *Electronic box project*, digunakan sebagai alat sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel volta.

### 3.3 Prosedur Penelitian

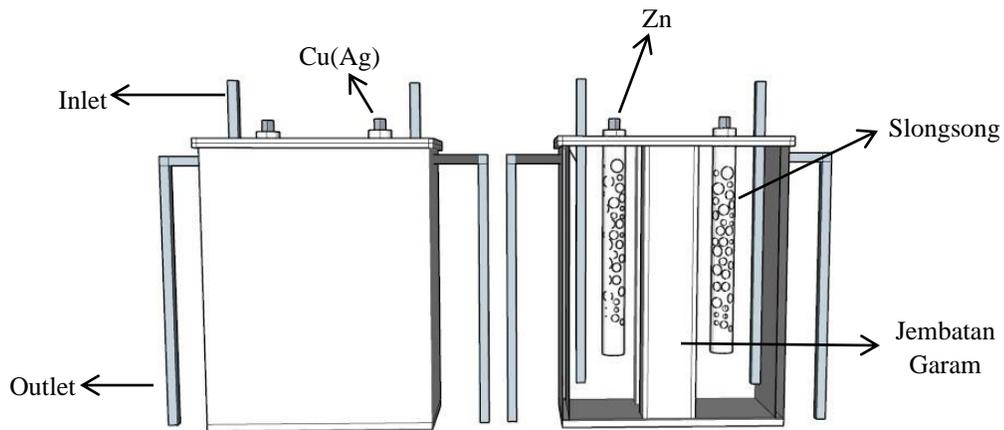
Penelitian ini dilakukan untuk mendesain dan membuat sebuah alat penghasil energi alternatif secara berkelanjutan menggunakan elektrolit air laut dan elektroda Cu(Ag)-Zn dengan energi yang dihasilkan dirancang untuk output bersifat *selector* yaitu dimanfaatkan sebagai beban (20 LED). Alat dilengkapi sistem monitoring energi yang dihasilkan sel volta secara *real time* menggunakan sensor INA219 yang terintegrasi pada *SD card* berbasis arduino. Prosedur yang dilakukan penelitian ini terdiri atas 4 tahap, yaitu tahap perancangan dan pembuatan sel volta, proses elektroplating Ag pada Cu, pembuatan jembatan garam, perancangan dan realisasi rangkaian pengujian alat. Secara umum prosedur penelitian ini seperti Gambar 3.1.



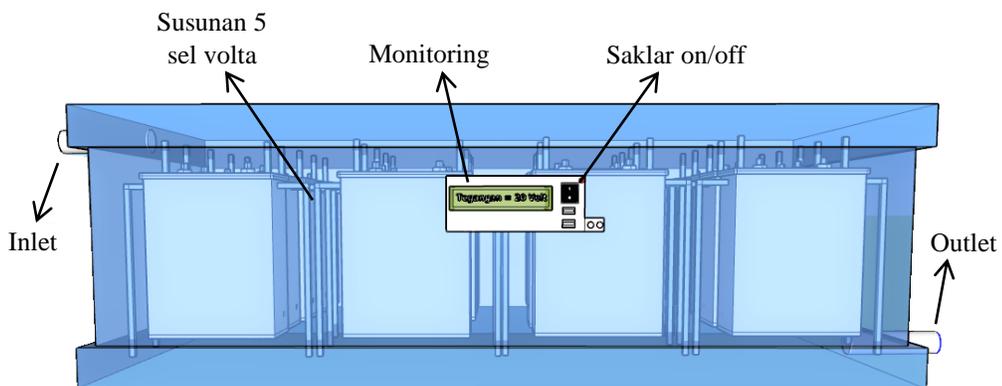
**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

a. Perancangan dan pembuatan sel volta

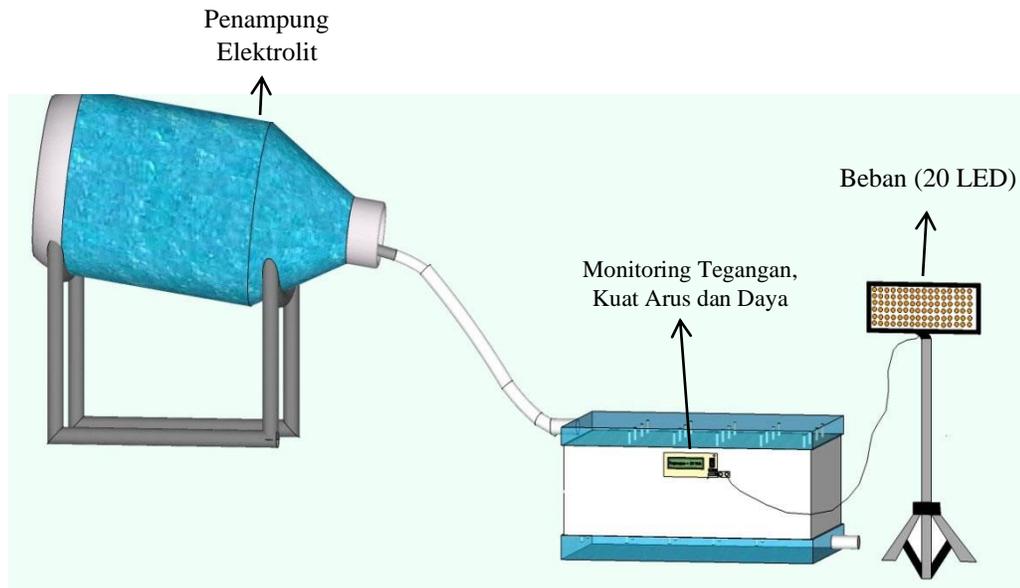
Perancangan dan pembuatan sel volta memiliki 5 sel yang terbuat dari bahan akrilik yang tebalnya 3 mm dengan sistem tertutup. Setiap sel berisi sepasang elektroda Cu(Ag)-Zn. Kerangka utama alat berbentuk balok yang terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 4 mm. Desain sistem energi listrik alternatif air laut pada penelitian ini seperti di Gambar 3.2, 3.3 dan 3.4.



**Gambar 3.2** Desain sel volta



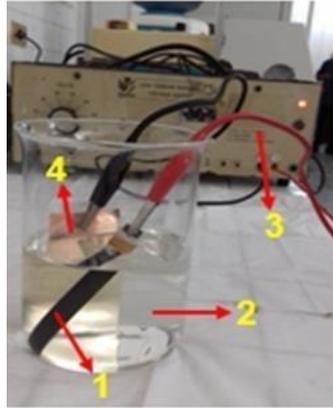
**Gambar 3.3** Desain susunan sel volta



**Gambar 3.4** Desain alat keseluruhan

b. Proses elektroplating Ag dan Cu

Pada tahap kedua dilakukan proses elektroplating Ag pada Cu dengan larutan sepuh perak ( $\text{AgNO}_3$ ) sebanyak 300 ml sebagai larutan elektrolitnya. Lembaran Cu sebagai katode dan batang karbon sebagai anode. Sebelum dilakukan elektroplating, permukaan logam Cu dibersihkan dengan larutan  $\text{HNO}_3$  1 % untuk mengurangi kandungan lemak yang menempel pada Cu. Kemudian permukaan logam Cu tersebut dibersihkan kembali dengan etanol 70% untuk menghilangkan kandungan  $\text{HNO}_3$  yang menempel pada Cu. Selanjutnya, elektroplating dilakukan dengan tegangan sebesar 2 volt selama 5 menit. Elektroplating ditunjukkan pada Gambar 3.5 (Rizki, 2019).



**Gambar 3.5** Elektroplating pada Cu (Tembaga)

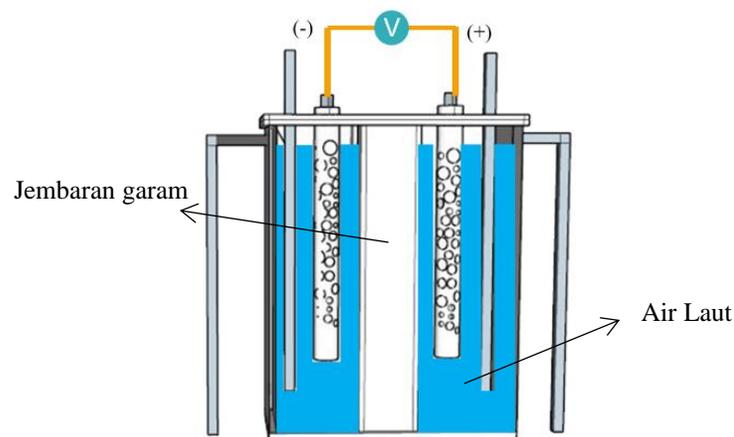
keterangan:

1. Batang karbon sebagai logam inert untuk anode;
2. Larutan  $\text{AgNO}_3$  0,02 M;
3. Power supply;
4. Logam Cu sebagai katode.

c. Pembuatan jembatan garam

Pada tahap ketiga dilakukan proses pembuatan variasi konsentrasi jembatan garam  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,1 mol; 1 mol dan  $\text{CaCO}_3$  0,1 mol; 1 mol dicampurkan dengan semen baturaja dan air laut. Langkah awal membuat jembatan garam dengan bubuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1 mol ditambahkan bubuk  $\text{CaCO}_3$  1 mol, kemudian ditambahkan semen sebanyak 70 gram lalu diaduk hingga tercampur. Setelah itu, campuran tersebut dibentuk seperti persegi panjang dan dikeringkan hingga mengeras. Setelah mengeras, dimasukkan ke tempat jembatan garam yang telah disediakan didalam sel volta. Pembuatan variasi konsentrasi jembatan garam yang kedua dengan bubuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,1 mol ditambahkan bubuk  $\text{CaCO}_3$

0,1 mol, kemudian ditambahkan semen sebanyak 10 gram. Pembuatan variasi konsentrasi jembatan garam ketiga dengan bubuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1 mol ditambahkan bubuk  $\text{CaCO}_3$  0,1 mol, kemudian ditambahkan semen sebanyak 30 gram. Pembuatan variasi konsentrasi jembatan garam ketiga dengan bubuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,1 mol ditambahkan bubuk  $\text{CaCO}_3$  1 mol, kemudian ditambahkan semen sebanyak 30 gram. Langkah pembuatan jembatan garam kedua, ketiga dan keempat sama seperti langkah pembuatan jembatan garam pertama. Yang membedakan setiap jembatan garam adalah variasi konsentrasi yang digunakan. Tujuan pembuatan jembatan garam ini untuk menjaga kenetralan muatan listrik pada larutan. Jembatan garam ditunjukkan pada Gambar 3.6.



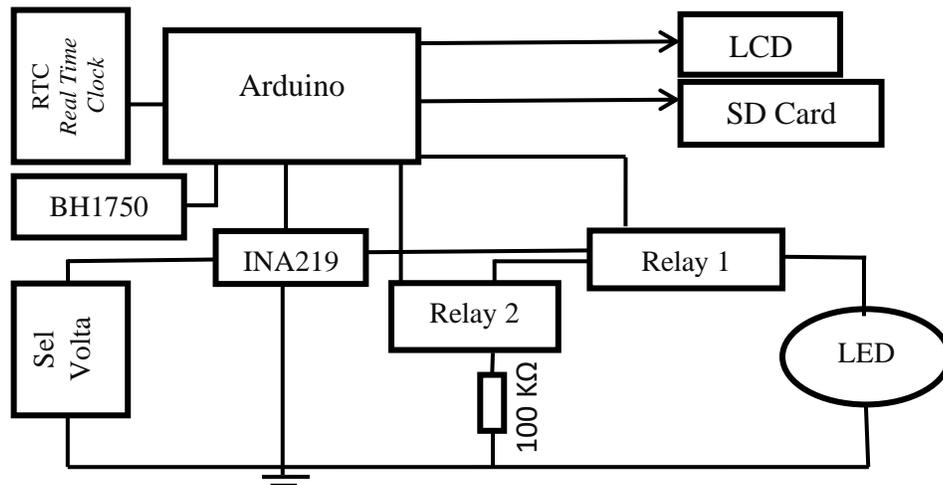
**Gambar 3.6** Sel 2 kompartemen dengan jembatan garam

d. Perancangan sistem monitoring V, I, P dan lux

Pada tahap ini akan dilakukan perancangan sistem monitoring V, I, P dan lux parameter elektrik sel volta secara *real time* menggunakan program pengendalian Arduino yang terintegrasi pada *SD Card*. Secara umum, rancangan sistem monitoring terdiri dari perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

### 1. Perancangan perangkat keras

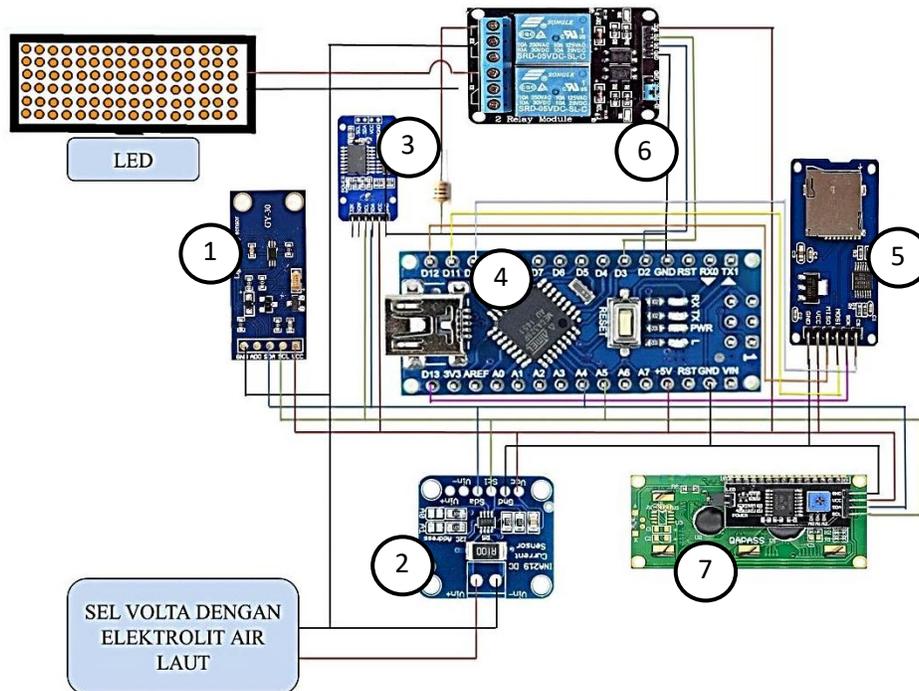
Untuk perancangan perangkat keras ditunjukkan dalam diagram blok pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Diagram blok

Perancangan instrumentasi dengan parameter pengukuran yang akan dilakukan pada sel elektrokimia air laut meliputi tegangan saat beban dilepas ( $V_{bl}$ ), tegangan dengan beban ( $V_b$ ), arus ( $I$ ) dan intensitas cahaya. Secara umum, rancangan sistem yang akan dibangun meliputi otomatisasi, pendeteksian parameter, pemroses dan penyimpanan data. Pada tahap otomatisasi, *output* sel elektrokimia yang terhubung dengan beban akan terintegrasi *relay*. *Relay* berfungsi sebagai saklar pada beban agar sistem dapat mengukur tegangan tanpa beban ( $V_{bl}$ ) dan tegangan dengan beban ( $V_b$ ) secara otomatis. Sementara itu, pada tahap pendeteksian parameter, sensor akan mendeteksi parameter fisis dan mengubahnya menjadi besaran listrik (sinyal analog). Kemudian sinyal analog akan dikonversi menjadi sinyal digital menggunakan pemroses Arduino. Selain itu, RTC (*Real Time Clock*) sebagai

sumber waktu akan memberikan keterangan yang meliputi waktu saat pengukuran berlangsung dengan nilai digital yang diperoleh sensor. Nilai digital dan keterangan waktu pengukuran tersebut kemudian akan disimpan pada *data logger* menggunakan *SD Card*. Desain rangkaian sistem *monitoring V, I, P* dan intensitas cahaya ditunjukkan pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Desain rangkaian

Keterangan:

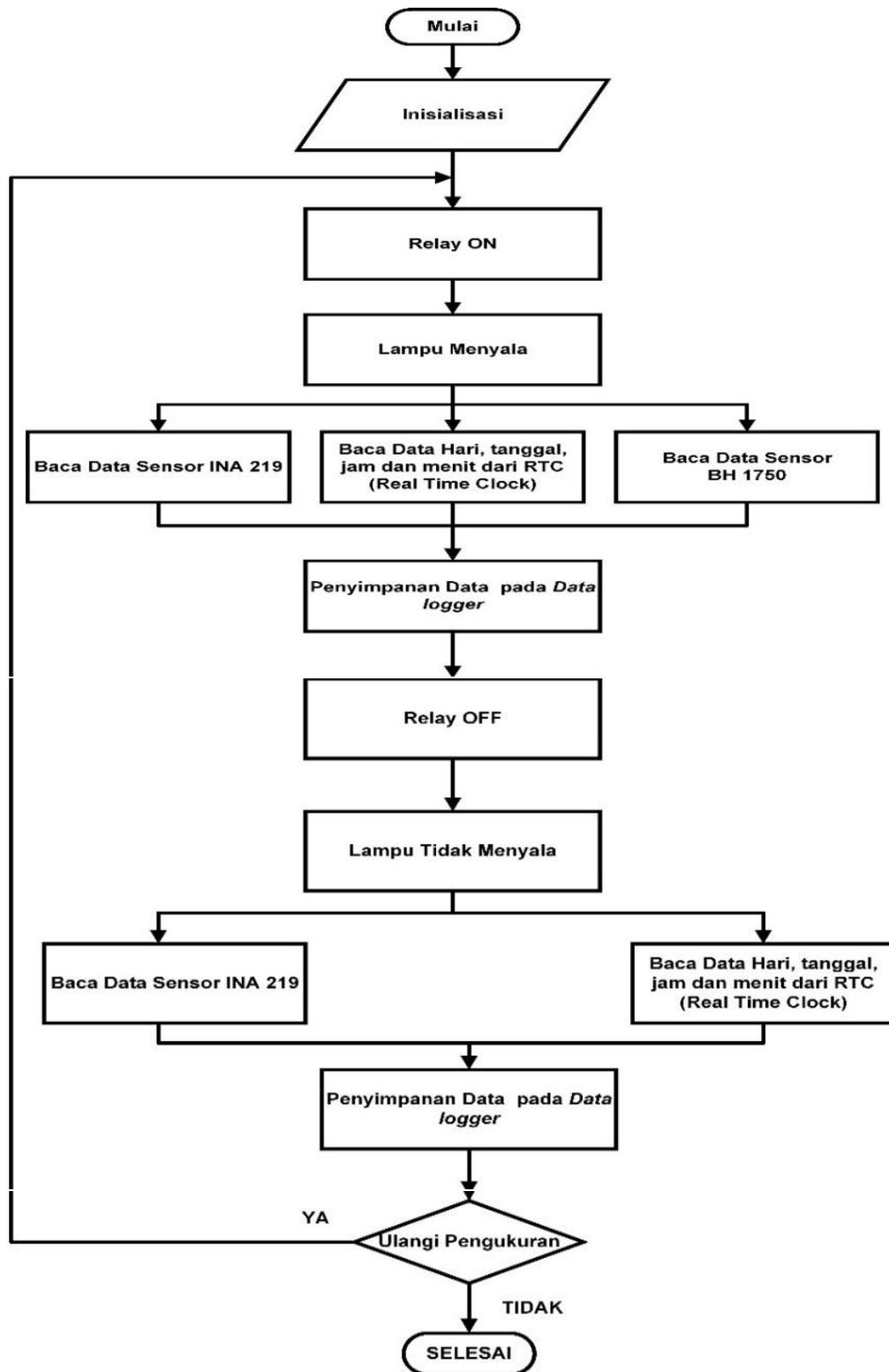
1. Sensor BH1750
2. Sensor INA219
3. RTC (*Real Time Clocl*) DS3231
4. Arduino Nano
5. *Micro SD Card Adapter (Data Logger)*
6. *Relay*
7. LCD

**Tabel 3.1** Sambungan pin Arduino nano dan komponen

No	Pin Arduino	Komponen
1.	Pin 4	Pin <i>Relay</i>
2.	Pin 10	Pin RTC CS
3.	Pin 11	Pin RTC MOSI
4.	Pin 12	Pin RTC MISO
5.	Pin 13	Pin RTC SCK
6.	Pin A4	Pin SDA I2C
7.	Pin A5	Pin SCL I2C

## 2. Perancangan perangkat lunak

Program pengendali Mikrokontroler Arduino Nano dibuat menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Program tersebut berisikan perintah untuk menjalankan fungsi dari rangkaian pengendali. Secara umum, rancangan program pengendali tersebut diperlihatkan dalam digram alir Gambar 3.9. Diagram alir tersebut dapat dilihat bahwa program pengendali dibuat untuk menjalankan tiga tugas utama. Tugas pertama adalah melakukan perintah otomatisasi menggunakan *relay* untuk menghidupkan atau mematikan beban yang terhubung dengan sel elektrokimia air laut. Lalu, tugas kedua adalah membaca data waktu pengukuran dari RTC (*Real Time Clock*) sekaligus mendeteksi parameter fisis dan mengubahnya menjadi nilai digital. Tugas ketiga adalah menyimpan hasil pengolahan pada *data logger* menggunakan *SD card*.



Gambar 3.9 Digram alir rancangan program pengendali

e. Pengujian alat

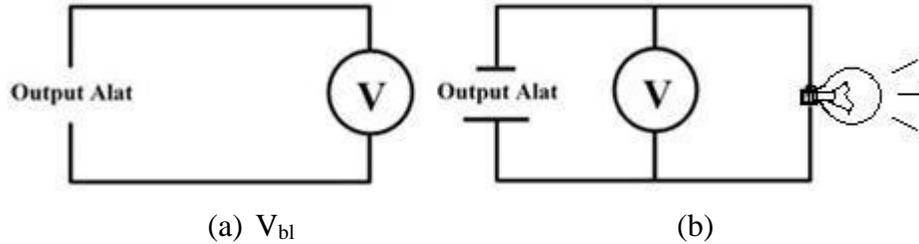
Pada tahap ini, terdapat beberapa langkah yang dilakukan dalam pengujian karakteristik elektrik pada sel volta dengan penambahan beban (20 LED) sebagai berikut.

- 1) Tempat penampung diisi dengan elektrolit yang telah di filter sampai penuh.
- 2) Kran dibagian ujung tempat penampung dibuka agar elektrolit mengalir sehingga terjadi pengisian elektrolit ke setiap sel volta dengan ukuran 200 ml.
- 3) Output sel volta dihubungkan ke input beban.
- 4) Pengukuran tegangan, kuat arus dan daya listrik yang dihasilkan sel volta tanpa beban dan setelah diberi beban yang dilakukan setiap 1 jam dengan menggunakan sistem monitoring secara *real time*.
- 5) Pengambilan data selama 72 jam dengan perlakuan pergantian elektrolit setiap 24 jam.

### 3.4 Rancangan Data Hasil Penelitian

Data pengamatan yang diambil yaitu electrode Cu(Ag)-Zn sebelum dan sesudah digunakan, tegangan saat beban dilepas ( $V_{bl}$ ), tegangan saat beban dipasang ( $V_b$ ), arus ( $I$ ), dan intensitas cahaya yang dihasilkan dari lampu LED 3 mm. Tegangan, arus dan intensitas cahaya diukur dengan modul Arduino yang didalamnya terdapat sensor arus, tegangan, dan intensitas cahaya. Data pengamatan pada penelitian ini akan diambil setiap 1 jam selama 72 jam berturut-turut dengan perlakuan pergantian elektrolit setiap 24 jam. Rangkaian 5 sel disusun secara seri dengan elektrolit air laut dan air laut yang

ditambahkan jembatan garam  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CaCO}_3$ . Pada sistem ini digunakan rangkaian sederhana untuk mengukur nilai karakteristik elektrik yang dihasilkan seperti pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Rangkaian untuk mengukur nilai (a)  $V_{bl}$  dan (b)  $V_b$

Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk menghitung laju korosi elektrode (persamaan 2.1), hambatan dalam ( $R_{in}$ ) (persamaan 3.1), dan daya ( $P$ ) (persamaan 3.2).

$$R_{in} = \frac{V_{bl} - V_b}{I} \quad (3.1)$$

$$P = V_b \times I \quad (3.2)$$

Keterangan

$R_{in}$  = hambatan dalam ( $k\Omega$ );  $V_{bl}$  = tegangan tanpa beban (V);  $V_b$  = tegangan dengan beban;  $I$  = arus (A); dan  $P$  = daya (watt)

Rancangan pengambilan data dan hasil perhitungan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2, 3.3.

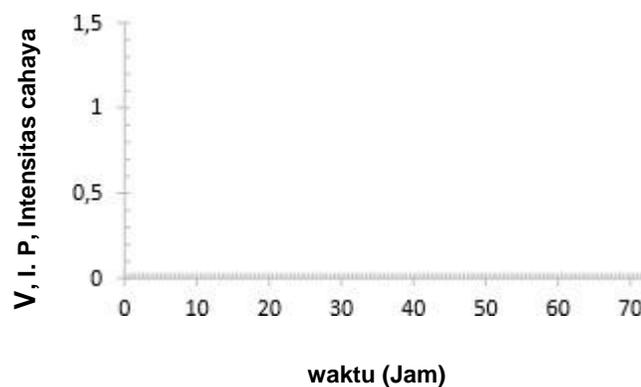
**Tabel 3.2** Data pengukuran karakteristik energi listrik dengan jembatan garam  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CaCO}_3$

No	Waktu (jam)	$V_{bl}$ (V)	$V_b$ (V)	Arus (A)	Iluminasi Cahaya (Lux)
1					
2					
3					

**Tabel 3.3** Hasil perhitungan karakteristik energi listrik

No	Waktu (jam)	Hambatan dalam ( $\Omega$ )	Daya (W)
1			
2			
3			

Penelitian ini juga dilakukan analisis data pengamatan dan hasil perhitungan yang diperoleh. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tegangan, arus, intensitas cahaya, dan daya terhadap waktu (jam). Rancangan analisis data ditunjukkan pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Grafik pengukuran karakteristik energi listrik

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. semakin besar konsentrasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada jembatan garam yang digunakan, maka semakin besar nilai tegangan pada sel volta;
2. semakin kecil konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  pada jembatan garam yang digunakan, maka semakin kecil nilai hambatan dalam pada sel volta;
3. tegangan rata-rata pada sel volta dengan variasi konsentrasi jembatan garam  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1 mol +  $\text{CaCO}_3$  0.1 mol lebih besar dari sel volta dengan variasi konsentrasi jembatan garam lainnya.

### 5.2 Saran

Saran dari penelitian yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya sebagai berikut.

1. melakukan penambahan konsentrasi jembatan garam  $\text{Al}_2\text{O}_3$  agar menghasilkan karakteristik elektrik lebih besar;

2. melakukan penambahan waktu analisis jembatan garam agar menghasilkan karakteristik elektrik yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, T. Nuzul., M. Ramdhan Kirom dan Reza Fauzi I. 2017. Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell Terhadap Produksi Energi Listrik. *e-Proceeding of Engineering*. Vol. 4. No. 2. Hal. 2123-2138.
- Anderson, M. A., Ana L. Cudero and Jesus Palma. 2010. Capacitive Deionization as an Electrochemical means of Saving Energy and Delivering Clean Water. *Electrochimica Acta*. Vol. 55. Hal. 3845-3856.
- Anjarwati, Arie. 2019. Analisis Aplikasi Jembatan Garam pada Sel Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu(Ag)-Zn Berbahan Elektrolit Air Laut. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Ansari, Irman., Budhi I., Faevi N., dan Iis Z. 2017. Pengaruh Waktu dan Luas Permukaan Terhadap Ketebalan Produk pada Elektroplating ACID Zinc. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*. Vol. 1. No. 1. Hal. 1-7.
- Aristian, Jovizal. 2016. Desain dan Aplikasi Sistem Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan (Sustainable Energi). *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Arizal, Fachrul., M. Hasbi, dan Abd. Kadir. 2017. Pengaruh Kadar Garam Terhadap Daya Yang Dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Air Garam Sebagai Energi Alternatif Terbarukan. *ENTHALPHY-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*. Vol. 2. No. 1. Hal. 1-5.
- Arwaditha, R. K. 2017. Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut dengan Penambahan Sodium Bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) sebagai Sumber Energi Alternatif. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Bardal, Einar. 2003. *Corrosion and Protection*. Springer. Norway.
- Bariyah, K., Rahmat Nuryanto dan Linda Suyati. 2010. Pengaruh Kation  $\text{Fe}^{2+}$  terhadap Proses Elektrokimiawi Magnesium pada Model Larutan Pekatan Air Laut (*Bittern*). *Jurnal Kimia dan Aplikasi*. Vol. 13. No. 3. Hal. 95-100.

- Bird, T. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Brock, F. V. and Scott J. Richardson. 2001. *Meteorological Measurement System*. Oxford University Education, Inc. New Jersey.
- Brown, Theodore L., H. Eugene Lemay, and Bruce E. Bursten. 2015. *Chemistry the Central Scienci (13<sup>th</sup> Edition)*. Person Education, Inc. New Jersey.
- Chang, R. 2003. *General Chemistry: The Essential Concepts*. Diterjemahkan oleh Suminar Setiadi Achmadi, Ph.D. Erlangga. Jakarta.
- Fariya, S. dan S. Rejeki. 2015. (Sea Water Electrochemical Cell) Pemanfaatan Elektrolit Air Laut menjadi Cadangan Sumber Energi Listrik Terbaharukan sebagai Penerangan pada Sampan. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 10. No. 1. Hal. 44-58.
- Gunawan, Kris Adhi. 2015. Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tanah sebagai Alat Bantu Penentu Benih Sayuran Yang Akan Dibudidayakan. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Hamann, C. H., A. Hamnett, and W. Vielstich. 1998. *Electrochemistry*. Wiley VCH. USA.
- Hammond, C. R. 2004. *The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics 81<sup>st</sup> Edition*. CRC press. USA.
- Haq, S. Z. N., Ekki Kurniawan dan M. Ramdhani. 2018. Analisis Pembangkit Elektrik Menggunakan Media Air Garam Sebagai Larutan Elektrolit. *e-Proceeding of Engineering*. Vol. 5. No. 3. Hal. 3823-3830.
- Harahap, M. R. 2016. Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *Circuit*. Vol. 2. No. 1. Hal. 177-180.
- Hudaya, E. 2016. Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Idris, M., dan Indra Jaya. 2014. Pengembangan Data Logger Suhu Air Berbahaya Rendah. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. Vol. 5. No. 1. Hal. 95-108.
- Jones, D. A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion, 2end ed*. Prentice hall. Upper Saddle River. New Jersey.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. *Materi Paparan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Rapat Koordinasi Infrastruktur Ketenagalistrikan*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Bali.

- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2017. *Rencana Strategis*. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Kholiq, Imam. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*. Vol. 19. No. 2. Hal 75-91.
- Khormali, A., Petrakov, D. G, & Moghaddam, R. N. 2017. Study of Adsorption/Desorption Properties of a New Scale Inhibitor Package to Prevent Calcium Carbonate Formation During Water Injection in Oil Reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Vol. 153. No. 01. Hal 257-267.
- Lasabuda, Ridwan. 2013. Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*. Vol. 1. No. 2. Hal. 92-101.
- Maroon, S. H. dan J. B. Lando. 1998. *Fundamentals of Physical Chemistry*. Millan Publishing Co Inc. New York.
- Maulana, N., Oky Dwi Nurhayati dan Eko Didik Widiyanto. 2016. Perancangan Sistem Sensor Pemantau Lingkungan Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*. Vol. 4. No. 2. Hal. 353-360.
- Maxim Integrated. 2015. *Extremely Accurate I2C Integrated TC/CXO/Crystal DS3231*. Maxim Integrated Inc. Bellandur.
- Milanino, R., K. D. Rainford and G. P. Melo. 1989. *Copper and Zinc in Inflammation*. Kluwer Academic Publishers. USA.
- Muchtar, Husnibes dan Asep Hidayat. 2017. Implementasi Wavecom dalam Monitoring Beban Listrik Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi*. Vol. 9. No. 1. Hal. 1-5.
- Mulyono, Pribadi R. 2017. Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal pada Pipa Baja API 5L Grade B dengan Variasi Jumlah Coating yang Dipasang Didalam Tanah. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Mutohar, A. 2008. *Komunikasi Data SPI pada Mikrokontroler MCS51*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Nabilah, N., Hannif I. I., Dendy H. S., Gagat M. P., Sofyan S., Ade K., Heriyanto S., Ridwan S., dan Irzaman. 2016. Pembuatan Prototipe Lampu Otomatis untuk Penghematan Energi Berbasis Arduino Uno di Departemen Fisika FMIPA IPB. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*. Vol. 5. Hal. 73-78.

- Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologis*. PT. Gramedia Pustaka. Jakarta.
- Parkash, A. 2016. Characterization of Generated Voltage, Power and Power Density from Cow Dung Using Double Chambered Microbial Fuel Cell. *Journal of Physical Chemistry and Biophysics*. Vol. 6. No. 01. ISSN: 2161-0398.
- Paunovic, M. dan Schlesinger, M. 1998. *Fundamentals of Electrochemical Fabrication*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Pauzi, Gurum A., Encep Hudaya, Amir Supriyanto, Warsito dan Arif Surtono. 2016. Analisis Uji Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Posiding SM SMIAP IV*. Vol. 4. Buku 3. Hal. 1-8.
- Pauzi, Gurum A., Jovizal Aristian, Amir Supriyanto dan S. W. Suciwati. 2017. Desain dan Aplikasi Sistem Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan (Sustainable Energi). *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 5. No. 1.
- Pauzi, Gurum A., A. Anjarwati, A. S. Samosir, S. R. Sulistiyanti dan Wasinton S. 2019. Analisis Pemanfaatan Jembatan Garam KCl dan NaCl terhadap Laju Korosi Elektroda Zn pada Sel Volta Menggunakan Air Laut sebagai Elektrolit. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. Vol. 4. No. 2. Hal. 50-58.
- Petrucci, R. H. 1999. *Kimia Dasar*. Alih Bahasa Achmadi, S. Erlangga. Jakarta.
- Prabhu, R. A., T. V. Venkatesha., and B. M. Praveen. 2012. Electrochemical Study of the Corrosion Behavior of Zinc Surface Treated with a New Organic Chelating Inhibitor. *Research Article*. ISRN Metallurgy. ID 940107.
- Prastuti, Okky Putri. 2017. Pengaruh Komposisi Air Laut dan Pasir Laut Sebagai Sumber Energi Listrik. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. Vol. 1. No. 1. Hal. 35-41.
- Pratisto, Yogo., Hari Prastowo dan Soemartoyo W. A. 2014. Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Air Memanfaatkan Teknologi Sistem Pipa Kapiler. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 3. No. 1. Hal 99-103.
- Putra, I. B. E., M. Jasa Afroni dan Oktrizta Melfazen. 2018. Perencanaan Penyiraman Otomatis Bertenaga Surya Berbasis Arduino Uno untuk Tanaman Bibit Jenitri. *Science Electro*. Vol. 9. No. 1. Hal. 1-5.
- Rahmawati, F. 2013. *Elektrokimia Transformasi Energi Kimia-Listrik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

- Ramlan, R. dan N. Pradhani. 2008. Studi Pemanfaatan Pasir Laut sebagai Agregat Halus pada Campuran Beton Aspal. *Jurnal Majalah Ilmiah Mektek*. Vol. 1. No. 1. Hal. 10-21.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Rizki, K. C. 2019. Analisis Pengaruh Elektroplating Perak (Ag) pada Tembaga (Cu) terhadap Karakteristik Elektrik Air Laut sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Rohm Semiconductor. 2011. *Datasheet BH1750*. Rohm Semiconductor.
- Saleh, M., dan Munnik Haryanti. 2017. Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Relay. *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*. Vol. 8. No. 3. Hal. 181-186.
- Sartono, M., Vega Noviana, S. Maemunah dan Nurkamalia L. 2014. Pengaruh Jembatan Garam KCl dan Buah terhadap Voltase yang Dihasilkan Sel Galvani. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 1. No. 1.
- Sasono, Eko J. 2010. Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium pada Plat Baja Kapal AISI E 2512 terhadap Laju Korosi di Dalam Media Air Laut. *Tesis*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sidiq, M. Fajar. 2013. Analisa Korosi dan Pengendaliannya. *Jurnal Foundry*. Vol. 3. No. 1. Hal. 25-30.
- Sugiyarto, K. H. dan Retno D. S. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sunde, S. 2012. *Water Electrolysis Tecnology Concepts and Performance*. Newcastle Upon Tyne. University of Newcastle.
- Supriadi, H. Zulhanif dan Khoiril Fadlil. 2013. Pengaruh Rapat Arus dan Temperatur Elektrolit terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda pada Elektroplating Tembaga untuk Baja Karbon Sedang. *Jurnal Mechanical*. Vol. 4. No. 1. Hal. 30-37.
- Susanto, A., M. S. Baskoro, S. H. Wisudo, M. Riyanto dan F. Purwangka. 2017A. Performance of Zn-Cu and Al-Cu Electrodes in Seawater Battery at Different Disantce and Surface Area. *International Journal of Renewable Energy Research*. Vol. 7. No. 1. Hal. 298-303.
- Susanto, A., M. S. Baskoro, S. H. Wisudo, M. Riyanto dan F. Purwangka. 2017B. Seawater Battery with Al-Cu, Zn-Cu, Gal-Cu Electrodes for Fishing Lamp.

*International Journal of Renewable Energy Research*. Vol. 7. No. 4. Hal. 1857-1868.

Suyanta. 2013. *Buku Ajar Kimia Unsur*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Syahwil, M. 2013. *Panduan Mudah Simulasi dan Praktek Mikrokontroller Arduino*. Andi. Yogyakarta.

Tamamy, A. J. Zaenal Arifin dan Amalia. 2019. Desain Sistem Pemantauan Potensi Tenaga Matahari dan Tenaga Angin. *Jurnal Rekayasa Elektrika*. Vol 15. No. 1. Hal. 40-46.

Tauvana, A. I. 2016. Pengaruh Variasi Tegangan dan Waktu Pelapisan terhadap Kekilapan, Kekerasan dan Kekasaran Permukaan Aluminium. *Jurnal KURVATEK*. Vol. 1. No. 1. Hal. 1-6.

Texas Instruments. 2015. *Zero-Drift, Bi-Directional Current Power Monitor with I2C Interface Datasheet (Rev. G)*. Texas Instrumens Inc. Texas.

Usman, M. A., Muhammad Hasbi dan Budiman Sudia. 2017. Studi Eksperimen Penggunaan Air Garam Sebagai Sumber Energi Alternatif. *ENTHALPHY-Jurnal Mahasiswa Teknik Mesin*. Vol. 2. No. 2. Hal. 1-6.

Utami, B., A. Nugroho CS, dan L. Mahardiani. 2009. *Kimia untuk SMA/MA Kelas XII Program Ilmu Alam*. Pusat Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

Wahyono, Arif Hadi. 2018. Aplikasi Monitoring dan Management Kontrol Pemakaian Daya Listrik Rumah Susun Sederhana Berbasis Android. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.

Wibowo, Ari. 2016. Analisis Sifat Korosi Galvanik Berbagai Plat Logam di Laboratorium Metalurgi Politeknik Negeri Batam. *Jurnal Integrasi*. Vol. 8. No. 2. Hal. 144-147.

Widayatno, T., Hamid, Ibnu Ari Swasemba, dan Miftah Khairi Zufon. 2015. Karakterisasi Elektrokimia Larutan Elektrolit Rendah Sianida untuk Elektroplating Perak Dekoratif Ramah Lingkungan. *Simposium Nasional RAPI XIV*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. ISSN 1412-9612.

Widayatno, Tri. 2016. Modelling and Simulation of Current Distribution of Nickel Electrodeposition from Low Electrolyte Concentration at a Narrow Interelectrode GAP. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 11. No. 8. Hal. 5183-5189.

- Widowati, W. Astiana Sastiono dan Raymond Jusuf. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Andi. Yogyakarta.
- Yulianti, Devi., Amir Supriyanto, dan Gurum A. Pauzi. 2017. Analisis Kelistrikan Sel Volta Memanfaatkan Logam Bekas. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 5. No. 1. Hal. 49-57.
- Yuningsih, Ai dan A. Masduki. 2011. Potensi Energi Arus Laut untuk Pembangkit Tenaga Listrik di Kawasan Pesisir Flores Timur. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. Vol. 3. No. 1. Hal. 13-25.
- Zoski, Cynthia G. 2007. *Handbook of Electrochemistry*. Elsevier B. V. All Rights Reserved. Amsterdam.